

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Bakalářská práce

2013

Adam Grygar

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

**Spínané měniče napětí malého výkonu pro
průmyslovou elektroniku**

**Switching Voltage Low-Power Converters for
Industrial Electronics**

Bakalářská práce

Autor: Adam Grygar

Vedoucí práce: Ing. Václav Sládeček, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Adam Grygar**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika
Téma: Spínané měniče napětí malého výkonu pro průmyslovou elektroniku
Switching Voltage Low-Power Converters for Industrial Electronics

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši možných způsobů realizace DC-DC měničů.
2. Specifikujte možnosti použití speciálních integrovaných obvodů pro tyto měniče.
3. Na základě pokynů vedoucího bakalářské práce realizujte laboratorní vzorky měničů a proveďte jejich praktické ověření.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího bakalářské práce.

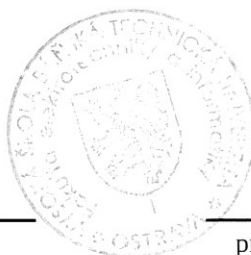
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Sládeček, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry

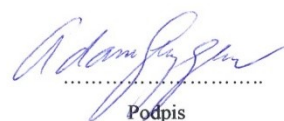


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím literatury, kterou uvádím v seznamu.

V Ostravě dne: 28.4.2013

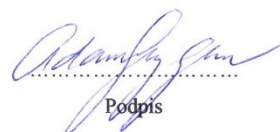


.....
Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Václavu Sládečkovi, Ph.D. za odborné vedení práce a za podporu a trpělivost při jejím vytváření. Dále také za umožnění přístupu do měřicí laboratoře a poskytnutí potřebných materiálů a přístrojů.

V Ostravě dne: 28.4.2013



.....
Podpis

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o DC/DC měničích. Je zde uvedena rešerše možných způsobů realizace DC/DC měničů. Velkou část práce tvoří princip činnosti zvyšujícího, snižujícího a invertujícího měniče napětí. Dále je práce zaměřena na integrované měniče a podrobně je popsán integrovaný obvod MC34063. V praktické části jsou navrženy a analyzovány měniče s tímto integrovaným obvodem pro zvyšování, snižování a invertování napětí. Práce obsahuje také několik měření s těmito měniči.

Klíčová slova

DC/DC měnič

zvyšující měnič

snižující měnič

invertující měnič

integrovaný obvod

Abstract

The bachelor work discuss about the DC/DC converters. There is research of the possible means for realization DC/DC converters. A large part of the work consists of working principle of step-up, step-down and inverting voltage converter. Furthermore, it is focused on integrated converters and is described detail MC34063 integrated circuit. The practical part is designed and analyzed with this integrated converter circuit for step-up, step-down and inverting voltage. The work includes also several measurements with these converters.

Key word's

DC/DC converter

step-up

step-down

inverting

integrated circuit

Seznam použitých symbolů a zkratk:

C	kondenzátor [F]
C_0	vyhlazovací kondenzátor [F]
C_T	externě připojená kapacita pro nastavení operační frekvence [F]
D	dioda
DC	stejnoseměrný
DPS	deska plošných spojů
EMI	elektromagnetické rušení
f	frekvence [Hz]
f_s	frekvence spínače [Hz]
IO	integrováný obvod
$i(t)$	časově proměnný proud [A]
I	proud [A]
I_1	vstupní proud [A]
I_2	výstupní proud [A]
$I_{PK(switch)}$	proud procházející výkonovým prvkem při spínání [A]
L	cívka (tlumivka) [H]
obr.	obrázek
P_1	příkon [W]
P_2	výkon [W]
R	odpor [Ω]
R_{SC}	výkonový odpor omezující proud spínání [Ω]
R_i	vnitřní odpor [Ω]
S	spínač
s	střída
ss motor	stejnoseměrný motor
t	čas [s]
T	perioda [s]
T	tranzistor
tab.	tabulka
t_{on}	doba sepnutí výstupu [s]
t_{off}	doba vypnutí výstupu [s]
U	napětí [V]
U_1, U_{IN}	vstupní napětí [V]
U_2, U_{OUT}	výstupní napětí [V]
U_F	pokles napětí za odporem R_{SC} [V]
$U_{in(min)}$	minimální vstupní napětí [V]
U_{sat}	saturační napětí výkonového spínacího prvku [V]
U_{ripple}	rozkmit výstupního napětí [V]
U_{ref}	referenční napětí [V]
η	účinnost [%]

OBSAH:

1. ÚVOD	1
2. REŠERŠE MOŽNÝCH ZPŮSOBŮ REALIZACE DC-DC MĚNIČŮ	2
2.1. DC-DC MĚNIČE BEZ GALVANICKÉHO ODDĚLENÍ	2
2.1.1. NÁBOJOVÁ PUMPA	2
2.1.2. SNIŽUJÍCÍ MĚNIČ NAPĚTÍ	3
2.1.3. ZVYŠUJÍCÍ MĚNIČ NAPĚTÍ	6
2.1.4. INVERTUJÍCÍ MĚNIČ NAPĚTÍ	8
2.1.5. BUCK-BOOST	10
2.1.6. SEPIC	10
2.2. DC-DC MĚNIČE S GALVANICKÝM ODDĚLENÍM	11
2.2.1. DC-DC MĚNIČ FLYBACK	11
2.2.2. DC-DC MĚNIČ HALF-FORWARD	12
2.2.3. DC-DC MĚNIČ PUSH-PULL	12
2.2.4. DC-DC MĚNIČ HALF-BRIDGE	13
2.2.5. DC-DC MĚNIČ FULL-BRIDGE	14
2.3. POUŽITÍ MĚNIČŮ	14
3. INTEGROVANÉ MĚNIČE	15
3.1. INTEGROVANÉ MĚNIČE S OBVODEM MAX1771	15
3.2. INTEGROVANÉ MĚNIČE S OBVODEM LM2577	16
3.3. INTEGROVANÉ MĚNIČE S OBVODEM MC34063	17
4. NÁVRH MĚNIČŮ	21
4.1. ZVYŠUJÍCÍ MĚNIČ	21
4.2. SNIŽUJÍCÍ MĚNIČ	27
4.3. INVERTUJÍCÍ MĚNIČ	32
5. ZÁVĚR	38
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	39

PŘÍLOHY

A	SCHÉMA ZVYŠUJÍCÍHO MĚNIČE
B	SCHÉMA SNIŽUJÍCÍHO MĚNIČE
C	SCHÉMA INVERTUJÍCÍHO MĚNIČE
D	OBRÁZEK REALIZACE PŘÍPRAVKU PRO MĚŘENÍ
E	LABORATORNÍ ÚLOHA

1. Úvod

Tato práce obsahuje popis a analýzu spínaných měničů napětí malého výkonu pro průmyslovou elektroniku.

V první části je zpracována rešerše DC-DC měničů se zaměřením na funkci měničů pro zvyšování napětí, snižování napětí a invertování napětí. U těchto měničů je podrobně rozebrán princip funkce, provoz při režimu spojitých i přerušovaných proudů. Dále pak průběhy napětí a proudů v obvodu měniče a výpočet střední hodnoty výstupního napětí. Jsou zde rozebrány integrované měniče a především integrovaný obvod MC34063, pomocí kterého jsou realizovány praktické přípravky.

V druhé části je zpracován návrh obvodových prvků měniče, který vychází ze zvolených parametrů všech tří typů měničů (pro zvyšování, snižování a inverzi napětí). Vytvoření schématu zapojení dle doporučených zapojení výrobce a následně zhotovení návrhů desek plošných spojů pro jednotlivé měniče. Dále jsou uvedené změřené zatěžovací a převodní charakteristiky a grafy.

V příloze je uveden návrh laboratorní úlohy pro přípravek.

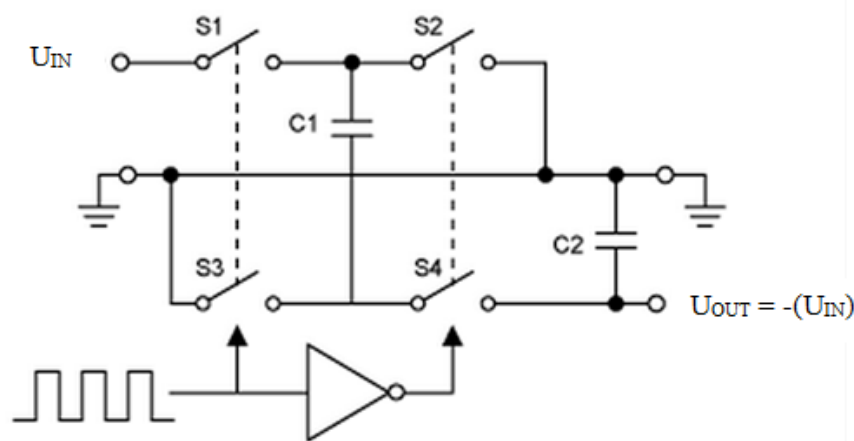
2. Rešerše možných způsobů realizace DC-DC měničů

Hlavní rešerše DC-DC měničů je rozdělena na DC-DC měniče bez galvanického oddělení a DC-DC měniče s galvanickým oddělením.

2.1. DC-DC měniče bez galvanického oddělení

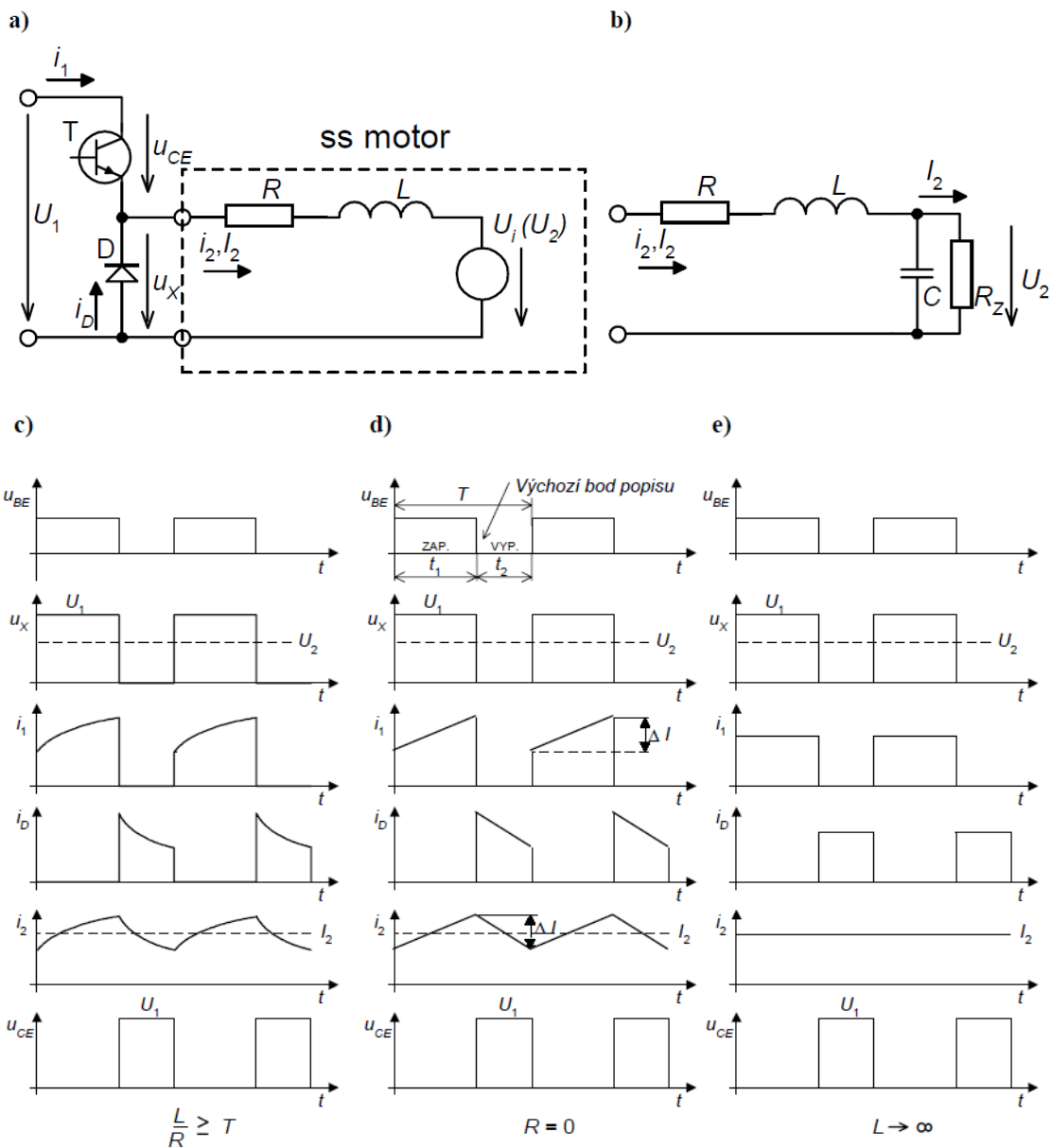
2.1.1. Nábojová pumpa

Nábojové pumpy jsou vhodné tam, kde je vyžadováno nízké napájecí napětí, maximální odebíraný proud, ale také nízká cena. Používají se v případě, kdy nejsou splněny požadavky hlavního napájecího zdroje, výstupu ze stabilizátoru či z baterií. Výhodou je jednoduchá konstrukce, malé rozměry, vlastní spotřeba a nízká cena. Obvody těchto měničů používají keramické nebo elektrolytické kondenzátory pro uchování a následný převod zdrojové energie. V této aplikaci jsou použity aktivní spínací obvody, které jako první nabijou kondenzátor připojený ke zdroji napětí a pak ho přepnou k výstupu zdroje v takovém zapojení, jaké potřebujeme (snížení, nebo zvýšení napětí). Nejběžnějším používaným obvodem na trhu je ICL7660, který má ve vnitřní struktuře zabudovaný vnitřní oscilátor, který zaručuje společné spínání spínačů $S1$, $S2$ a $S3$, $S4$. Dále se používají integrované obvody MAX660, MAX860, MAX1680 a další, odlišnosti jsou pouze v provozní frekvenci, vstupním napětí a výstupním proudem. Na obr. 2.1. je uveden příklad zapojení invertující nábojové pumpy. [3]



Obr. 2.1: Blokové schéma invertující nábojové pumpy

2.1.2. Snižující měnič napětí



Obr. 2.2: Snižující měnič pracující v 1. kvadrantu

- a) měnič s aktivní zátěží typu ss motor
- b) měnič s LC filtrem
- c) skutečné (exponenciální) průběhy proudů
- d) linearizované průběhy proudů ($R=0$)
- e) pravoúhlé průběhy proudů ($L \rightarrow \infty$)

Schéma snižujícího měniče a označení veličin je označeno na obr. 2.2. Na obr. 2.2.a) je zobrazen měnič s aktivní zátěží typu stejnosměrný motor s cizím buzením – indukčnost L je kotevní indukčnost stroje. Na obr. 2.2.b) je zobrazen měnič s LC filtrem pracující do zátěže R_Z .

Popis činnosti v režimu spojitých proudů:

„Režimem spojitých proudů rozumíme, že proud tlumivkou L nikdy během svého poklesu v časovém intervalu t_2 neklesne na nulu a nesetrvává nulový. V mezním případě se může dotknout nuly v jediném bodě, v okamžiku skončení doby t_2 .“ [1]

- 1) Vyjdeme ze stavu, kdy je tranzistor T vypnutý. V ustáleném stavu měniče (tj. po několika periodách spínání) už protéká tlumivkou L nenulový proud $i_2(t)$. Ten se uzavírá přes zátěž a nulovou diodu D . Ta je zde otevřená a napětí u_x je teď proto nulové (ve skutečnosti je mírně záporné: prahové napětí v propustném směru). V takto uzavřeném obvodu je zdrojem proudu indukčnost L . Přechodový děj probíhá s časovou konstantou L/R . Bude-li spínací perioda (a tedy i doba vypnutí tranzistoru) dostatečně krátká, během ní se nestačí změnit vnitřní napětí U_i motoru nebo napětí U_2 zátěže s LC filtrem a je možno je považovat za konstantní. Tedy proud $i_2(t)$ exponenciálně klesá se zmíněnou časovou konstantou.
- 2) Sepneme tranzistor T . Napětí u_x pak bude rovno U_1 . Dioda D se uzavře a proud $i_2(t)$ je dodáván ze zdroje U_1 . Probíhá opět přechodový děj s časovou konstantou L/R – proud vzrůstá.
- 3) Při následném vypnutí tranzistoru se opět dostáváme do výchozího stavu 1).

Pro výstupní napětí U_2 platí:

$$U_2 = U_1 \cdot s \quad (2.1)$$

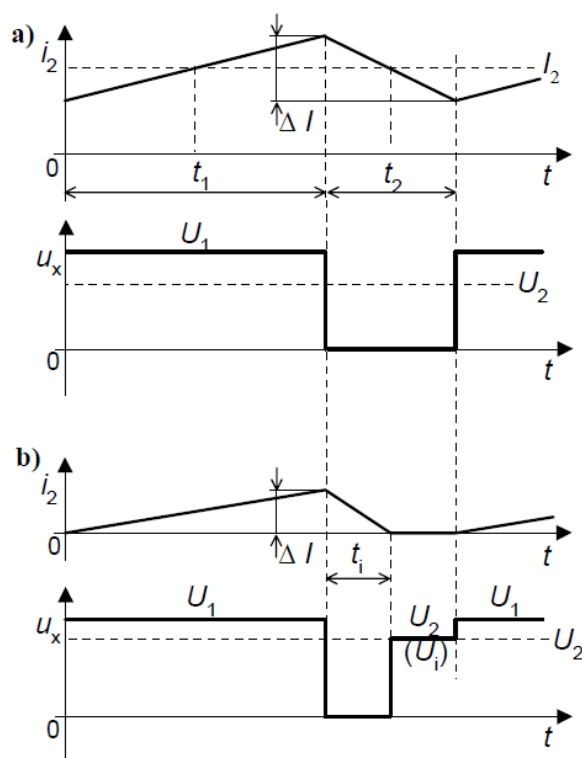
Kde s je střída jako poměr doby zapnutí tranzistoru t_1 a periody spínání T .

$$s = \frac{t_1}{T} \quad s \in (0,1) \quad (2.2)$$

Popis činnosti v režimu přerušovaných proudů:

Princip činnosti v režimu přerušovaných proudů je stejný jako v režimu spojitých proudů. Střední hodnota proudu I_2 je tak malá, že může během doby t_2 klesnout až na nulu, dříve než doba t_2 skončí. V tomto okamžiku se zavře dioda D a v měniči nevede ani dioda ani tranzistor

→ zátěž je zcela odpojena. Na svorkách U_x se objeví vnitřní napětí zátěže (buď U_i motoru, nebo U_2 LC-filtru). [1]



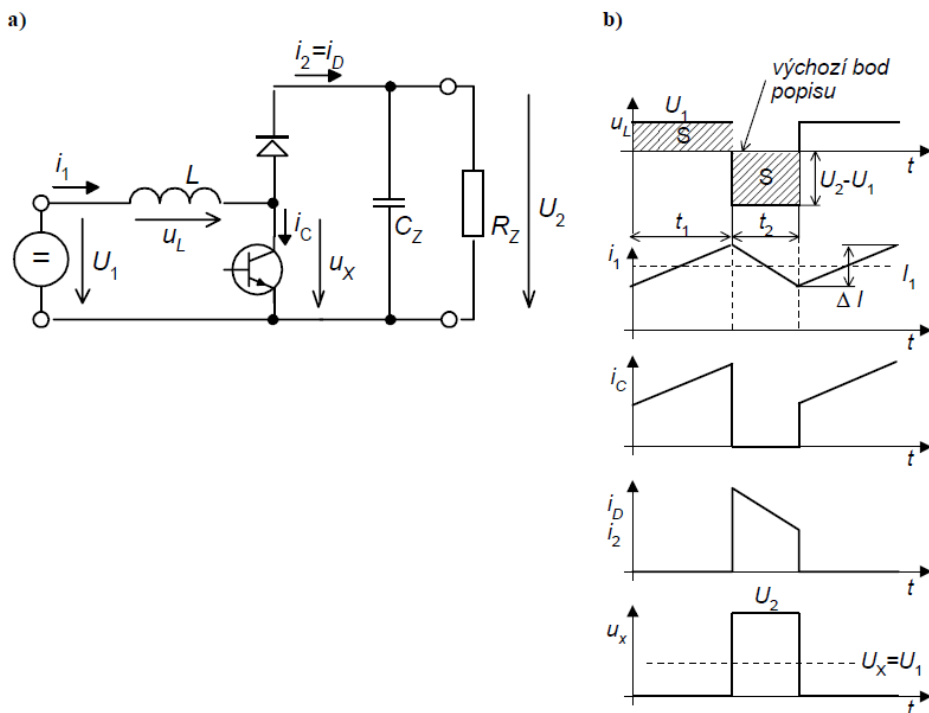
Obr. 2.3: Proud a napětí zátěže u měniče step-down

a) režim spojitých proudů

b) režim přerušovaných proudů

Na obr. 2.3 jsou zobrazeny průběhy proudu a napětí zátěže u měniče step-down při režimech spojitých a nespojitých proudů.

2.1.3. Zvyšující měnič napětí



Obr. 2.4: Zvyšující měnič pracující v 1. kvadrantu

a) schéma zapojení

b) průběhy napětí a proudů

Popis činnosti v režimu spojitých proudů:

Spojitý a nespojitý proud se týká proudu tlumivkou, u tohoto měniče se jedná o proud vstupní $i_1(t)$.

- 1) Výcházíme ze stavu, kdy je tranzistor T vypnutý. V ustáleném stavu (po několika spínacích periodách) teče už tlumivkou L určitý proud ze zdroje U_1 přes diodu D do zátěže U_2 . Dioda je tedy otevřená, proto na tlumivce L je napětí $u_L = U_1 - U_2$. Toto napětí je záporné, protože $U_2 > U_1 \rightarrow$ proud tlumivkou lineárně klesá.
- 2) Při sepnutí tranzistoru se objeví na tlumivce konstantní kladné napětí $u_L = U_1$ a proud i_L , který teče tlumivkou začne lineárně narůstat. Uzavírá se přitom ze zdroje U_1 přes tlumivku L a tranzistor T . Dioda D je uzavřená, protože je polarizovaná v závěrném směru.
- 3) Opětovným vypnutím tranzistoru se měnič dostává do stavu 1).

Pro výstupní napětí U_2 platí:

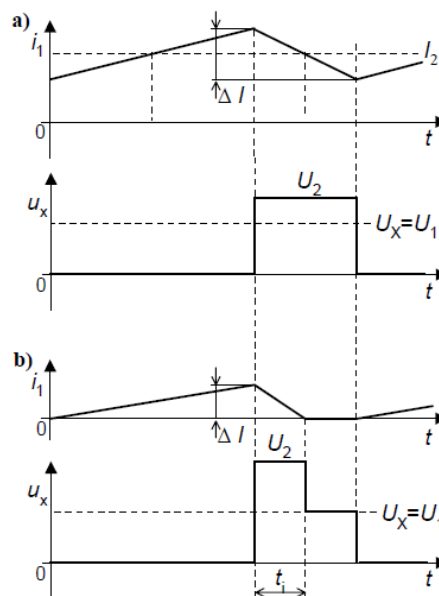
$$U_2 = U_1 \cdot \frac{t_1 + t_2}{t_2} = U_1 \cdot \frac{T}{t_2} = U_1 \cdot \frac{1}{1-s} \quad (2.3)$$

Kde s je střída jako poměr doby zapnutí tranzistoru t_1 a periody spínání T .

$$s = \frac{t_1}{T} \quad s \in (0,1) \quad (2.4)$$

Popis činnosti v režimu přerušovaných proudů:

Princip činnosti v režimu přerušovaných proudů je stejný jako v režimu spojitých proudů. Střední hodnota vstupního proudu I_1 je tak malá, že někdy může během doby t_2 klesající proud $i_1(t)$, který je udržován pouze tlumivkou L , klesne na nulu (dříve než t_2 skončí). V tom okamžiku se dioda D uzavře a v měniči pak nevede ani tranzistor T ani dioda D , zdroj je zcela odpojen. Proto na svorkách u_x se objeví napětí U_1 (tj. U_i , jedná-li se o motor v generátorickém režimu) namísto napětí U_2 . To je možné proto, že indukčností L neteče žádný proud, tedy je nulové i di/dt a tím i napětí na tlumivce L . Tento stav přetrvává až do okamžiku sepnutí tranzistoru T . Činnost měniče v režimech spojitých a přerušovaných proudů vidíme na obr 2.5. [1]



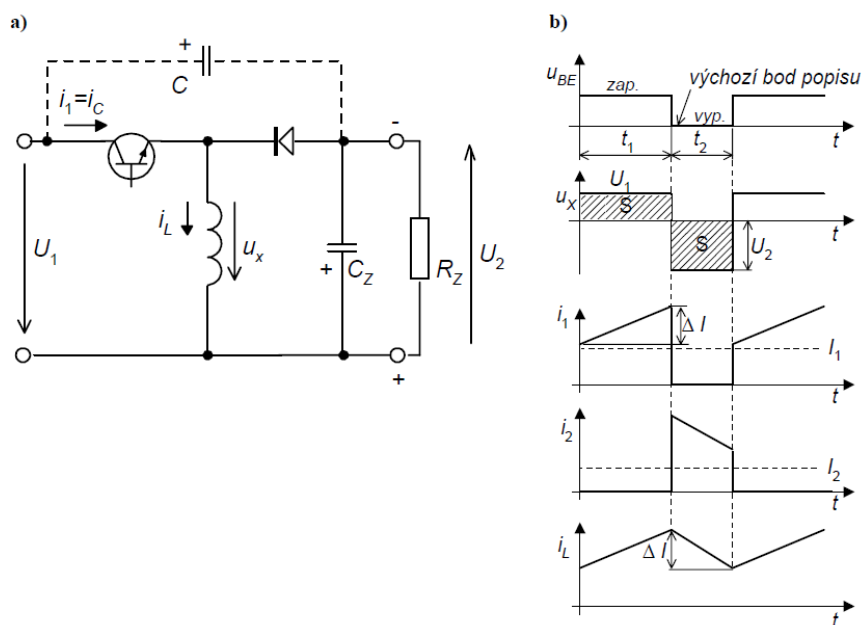
Obr. 2.5: Proud i_1 a napětí u_x u měniče step-up

a) režim spojitých proudů

b) režim přerušovaných proudů

2.1.4. Invertující měnič napětí

Jedná se o měnič s horním spínačem a pracuje ve 3. kvadrantu. Šipka napětí U_2 je vyznačena s ohledem na skutečnou orientaci výstupního napětí. Na obr. 2.6 je zobrazeno schéma zapojení invertujícího měniče napětí a průběhy napětí a proudů.



Obr. 2.6: Invertující měnič napětí pracující ve 3. kvadrantu

a) schéma zapojení

b) průběhy napětí a proudů

Princip činnosti v režimu spojitých proudů:

Spojitosť a nespojitosť proudů se týká proudu i_L procházejícího tlumivkou L . U tohoto měniče se tedy nejedná ani o vstupní ani o výstupní proud.

- 1) Výcházíme ze stavu, kdy je tranzistor T vypnutý. V ustáleném stavu (po několika spínacích periodách) již teče tlumivkou L jistý proud i_L . Ten se uzavírá přes zátěž a diodu D . Dioda je tedy otevřena a napětí u_x je tak rovno napětí $-U_2$. Na cívce L je tedy napětí o konstantní amplitudě opačné polarity, než má procházející proud. Tento proud proto lineárně klesá.
- 2) Při sepnutí tranzistoru T je napětí u_x rovno napětí U_1 . Na tlumivce L je tedy konstantní napětí $U_1 \rightarrow$ proud lineárně narůstá. Uzavírá se tentokrát ze zdroje U_1 přes tranzistor. Dioda D je orientována v závěrném směru a proud $i_2(t)$ neteče.
- 3) Opětovným vypnutím tranzistoru se měnič dostává do stavu 1).

Pro výstupní napětí U_2 platí:

$$U_2 = \frac{t_1}{t_2} \cdot U_1 = \frac{sT}{(1-s)T} \cdot U_1 = \frac{s}{1-s} \cdot U_1 \quad (2.5)$$

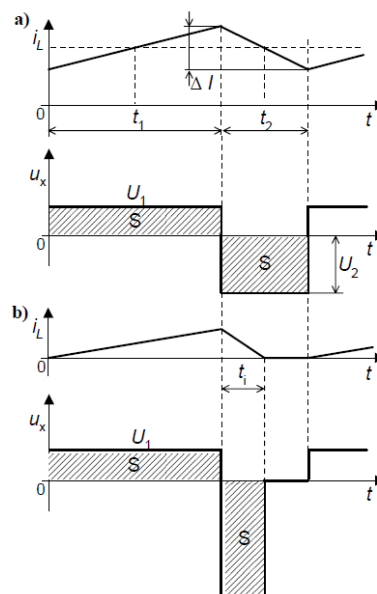
Toto napětí výjde kladně, protože šipka ve schématu je otočená v kladném směru napětí.

Kde s je střída jako poměr doby zapnutí tranzistoru t_1 a periody spínání T .

$$s = \frac{t_1}{T} \quad s \in (0,1) \quad (2.6)$$

Popis činnosti v režimu přerušovaných proudů:

Střední hodnota proudu tlumivkou $i_L(t)$ je tak malá, že proud $i_L(t)$ klesne na nulu dříve, než skončí doba t_2 . V tomto okamžiku se uzavírá dioda D a tlumivka je tak plně izolována, neteče jí žádný proud a je na ní nulové napětí u_x . Toto trvá až do sepnutí tranzistoru T . Střední hodnota napětí $u_x(t)$ na tlumivce musí být nulová (jako v režimu spojitých proudů). Z toho plyne následující úvaha: Je-li doba, v níž je $u_x(t) = -U_2$ kratší, než v režimu spojitých proudů, musí být velikost napětí U_2 větší, aby se rovnala plocha S (viz. obr. 2.6b) „pod osou“ ploše „nad osou“. V režimu přerušovaných proudů je tedy na zátěži U_2 vyšší, než udává vztah (2.5). Čím je toto napětí vyšší, tím strměji klesá proud po vypnutí tranzistoru T . Obrázek 2.7 zobrazuje proud i_L a napětí u_x invertujícího měniče v režimech se spojitými proudy a přerušovanými proudy. [1]



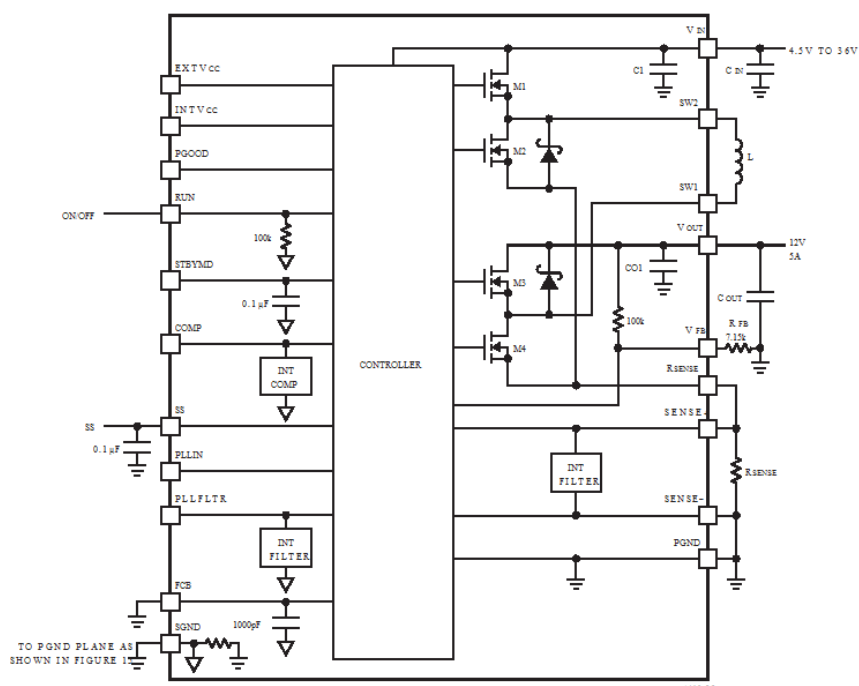
Obr. 2.7: Proud i_L a napětí u_x u invertujícího měniče

a) režim spojitých proudů

b) režim přerušovaných proudů

2.1.5. Buck-Boost

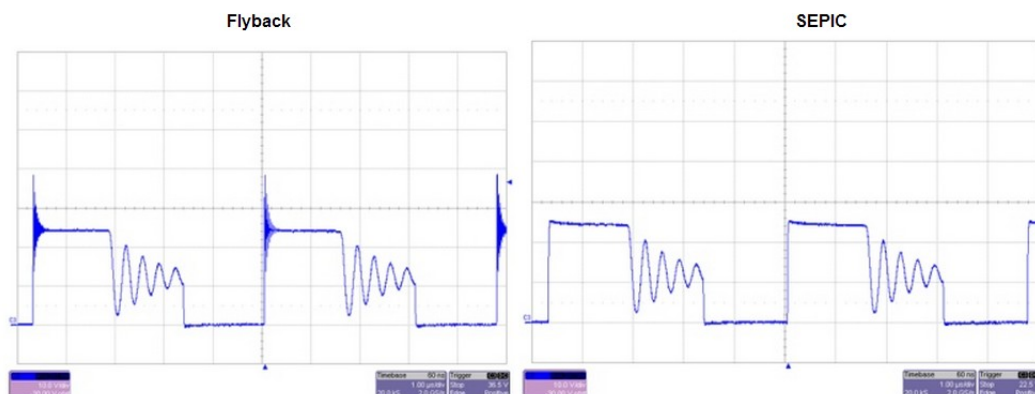
Měníče typu Buck-Boost jsou měniče, které mohou pracovat jak ve zvyšujícím, tak i snižujícím režimu napětí. Jeden z nejrozšířenějších integrovaných obvodů tohoto typu je LTM4607. Tyto obvody mají mnoho příznivých vlastností: široký rozsah vstupních i výstupních napětí, velké výstupní proudy, vysoká účinnost (až 98%), monitorování výstupního proudu, PLL řízení frekvence, velmi rychlá reakce na změnu zatížení a výstupní přepětíovou ochranu. V pouzdře integrovaného obvodu jsou mosfet tranzistory, Buck-Boost DC-DC kontroler, výstupní filtrační kondenzátory a kompenzační obvody. Pro správnou funkci potřebuje obvod doplnit pouze o tři externí součástky a napěťový dělič pro nastavení velikosti výstupního napětí. Blokové schéma obvodu LTM4607 je na obr. 2.8. [4]



Obr. 2.8: Blokové schéma DC-DC měniče typu Buck-Boost integrovaného obvodu LTM4607

2.1.6. SEPIC

Napájecí zdroje s technologií SEPIC zajišťují vyšší účinnost, než měniče flyback. Používají se tam, kde nepožadujeme izolované oddělení výstupních napětí. Tato topologie nabízí mnoho dalších výhod, které jsou v porovnání s klasickým neizolovaným flyback regulátorem. Hlavní výhodou je spojení tranzistoru mosfet a usměrňovací diody, které mohou být lehce řízeny i s možností omezení elektromagnetického rušení (EMI) a napěťových špiček. Na obrázku 2.9. je zobrazeno porovnání výstupního napětí napájecích zdrojů s technologií Flyback a SEPIC. U topologie SEPIC jsou eliminovány až zcela vyrušeny napěťové špičky při nástupné hraně. [7]

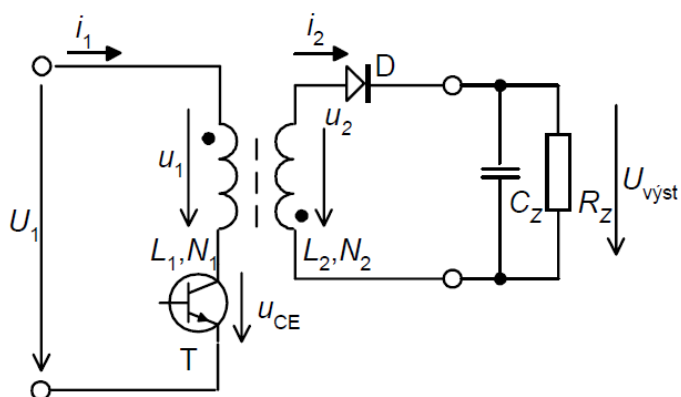


Obr. 2.9: Porovnání výstupního napětí zdroje Flyback a SEPIC

2.2. DC-DC měniče s galvanickým oddělením

2.2.1. DC-DC měnič flyback

Jedná se o jednočinný blokující měnič, který má izolovaný vstup od výstupu. Měniče flyback se používají v téměř všech dodávaných síťových elektronických zařízeních s nízkou spotřebou elektrické energie. Jsou schopny dodávat výkon do 250W. Jsou nejčastěji používány v televizorech, osobních počítačích, tiskárnách, atd. Výhodou je, že výstupní izolované napětí je možno regulovat pouze jedním řídicím obvodem. Na obr. 2.10 je zobrazen návrh řešení měniče typu flyback.



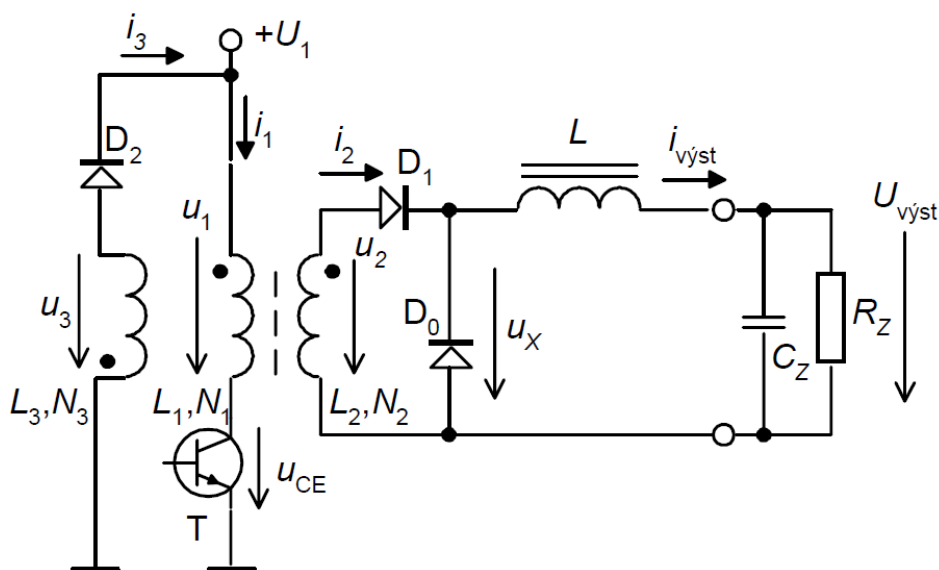
Obr. 2.10: Základní obvod měniče flyback

Tranzistor pracuje ve spínacím režimu. Řízení je uskutečněno pomocí pulsně-šířkové modulace. Během zapnutí tranzistoru se vstupní napětí na transformátoru u_1 , které je rovno vstupnímu napětí U_1 , má za následek lineární zvýšení proudu i_1 . Během této fáze se energie uchová v jádru

transformátoru. V době zapnutého tranzistoru je na sekundární straně vinutí nulový proud, protože je blokován diodou. Když je tranzistor vypnutý, primární proud i_1 je přerušen a napětí na transformátoru je invertováno, dioda je v propustném směru a energie prochází přes diodu na výstup přes filtr s kondenzátorem C_Z . [1,5]

2.2.2. DC-DC měnič half-forward

Jedná se o jednočinný propustný měnič. Měnič typu half-forward vychází ze zapojení snižujícího měniče. Funkci tohoto měniče můžeme rozdělit na tři pracovní cykly. V prvním cyklu je energie ze zdroje převedena na sekundární stranu. V druhém cyklu je prováděna demagnetizace transformátoru. V třetím cyklu měnič neprovádí žádnou činnost. Sekundární strana měniče je analogická s funkcí snižujícího měniče, jediný rozdíl je v použití transformátoru, který izoluje vstupní napětí od výstupního. Základní zapojení měniče typu half-forward je zobrazeno na obr. 2.11. [1]

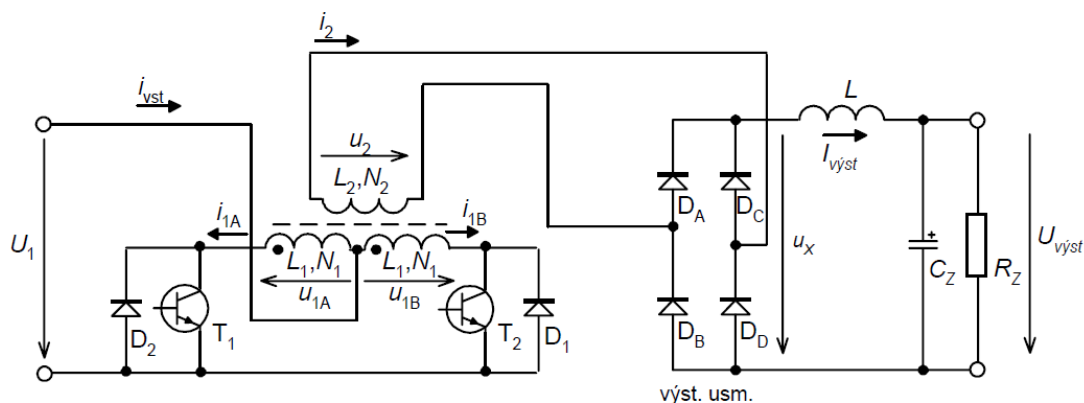


Obr. 2.11: Základní zapojení měniče half-forward

2.2.3. DC-DC měnič push-pull

Jedná se o dvojčinný propustný měnič, je schopen dosahovat vysokých výkonů a účinnost se pohybuje přes 80%. Kmitočet spínání lze nastavit maximálně do desítek kHz. Řídící část je realizována dvěma tranzistory, které jsou spínány v protifázi. Transformátor má vyvedené středy. V primární části transformátoru jsou na konce vinutí přiváděny výkonové signály z tranzistorů a na střed je přivedeno vstupní napětí U_{in} . Na sekundární straně transformátoru je

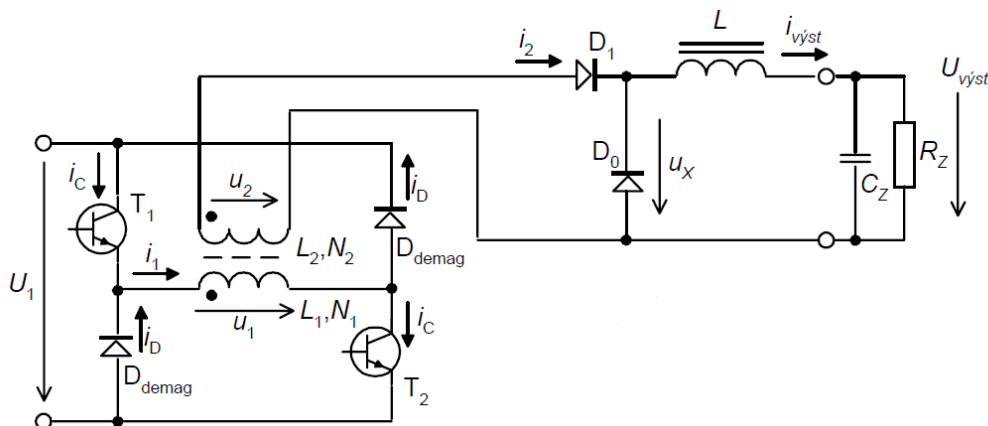
zvětšené střídavé napětí převodním poměrem, které je usměrněno a vyhlazeno. Na obr 2.12 je zobrazeno základní zapojení push-pull měniče. [1]



Obr. 2.12: Základní zapojení push-pull měniče

2.2.4. DC-DC měnič half-bridge

Jedná se o půl-můstkový měnič. Je vhodný pro velké výkony i při poměrně vysokých vstupních napětích (usměrněné jednofázové napětí 230V, nebo trojfázové napětí 3x400V). Podle řízení tranzistorů lze tento měnič rozdělit na symetrický a asymetrický půl-můstek. U symetrického řízení je budící napětí tranzistorů shodné, ale fázově posunuté o 180°. Toto řízení není výhodné, z důvodů limitace výstupního výkonu a pracovní frekvence. Použití a účinnost je tímto předpokladem značně omezena. U asymetrického řízení jsou tranzistory buzeny dvěma různými signály, které jsou vzájemně komplementární. Základní schéma half-bridge měniče je uvedeno na obr. 2.13.

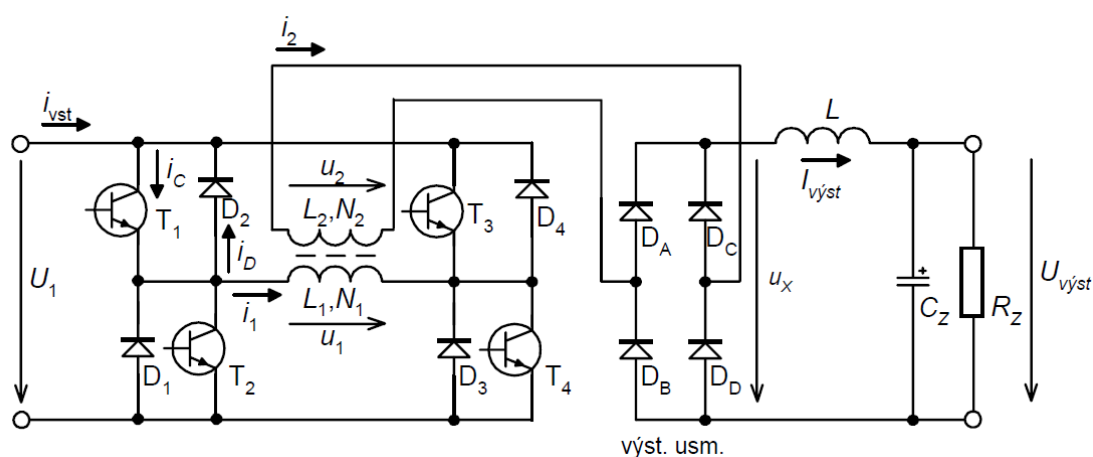


Obr. 2.13: Základní zapojení měniče half-bridge

Primární vinutí transformátoru je připojeno mezi dvojicí tranzistorů a sériovým spojením dvou kondenzátorů, tím je zajištěno buzení transformátoru. Sekundární strana transformátoru má vyvedený střed, z konců vinutí je zvýšené napětí, které je dáno převodním poměrem transformátoru usměrněno a filtrováno. [1]

2.2.5. DC-DC měnič full-bridge

Jedná se o úplný můstkový měnič. Své využití nacházejí v širokém rozsahu v servrech a telekomunikačních systémech. Vyrábějí se v různých standardních velikostech vstupních a výstupních napěťových rozsahů. Jsou využívány pro svou modularitu, hustotu výkonu, spolehlivost a všestranost. Obr. 2.14. zobrazuje základní zapojení měniče full-bridge.



Obr. 2.14: Základní zapojení full-bridge měniče

Tranzistory $T1$ až $T4$ jsou zpravidla řízeny pulzně-šířkovou modulací, která zajišťuje regulaci pro primární stranu transformátoru. Napětí na sekundární straně je zvýšeno převodním poměrem transformátoru a následně usměrněno diodami D_A až D_D a vyhlazeno filtrem LC_Z . [1,6]

Výstupní napětí je dáno vztahem:

$$U_{VYST} = U_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot f \cdot (t_{on(T1)} + t_{on(T2)}) \quad (2.7)$$

2.3. Použití měničů

Tyto DC-DC měniče jsou nejčastěji používány ve spínaných zdrojích např. napájecí zdroje počítačů, notebooků, v mobilních telefonech, jejich zdrojích, nebo v nabíječkách baterií

a mnoha dalších ve spotřební elektronice. Výrazné použití je také v zařízeních, které používají baterie, u kterých by byla životnost mnohem kratší s použitím klasických lineárních regulátorů napětí, protože velká část energie je zde vyzařena v teplo. Použití naleznou také jako aktivní usměrňovače v moderních síťových zdrojích, pro dosažení sinusového proudu s účinníkem blízkým jedné. [2]

3. Integrované měniče

V dnešní době je na trhu mnoho integrovaných obvodů pro realizaci DC-DC měničů napětí. Hlavní výběr záleží na typu použití jednotlivého měniče → viz. řešení jednotlivých typů měničů v bodě 2. Dále pak na hodnotách vstupního a výstupního napětí, výstupního proudu, resp. výkonu, účinnosti a ceně. V následujících bodech jsou rozebrány tři integrované měniče, a to MAX1771, LM2577 a MC34063. U prvních dvou jsou uvedeny pouze obecné vlastnosti, integrovaný měnič typu MC34063 je rozebrán podrobně, jsou zde uvedeny jeho parametry, návrh jeho externích prvků, vstupní i výstupní parametry a zapojení pro jednotlivé typy měniče (step-up, step-down a inverting).

3.1. Integrované měniče s obvodem MAX1771

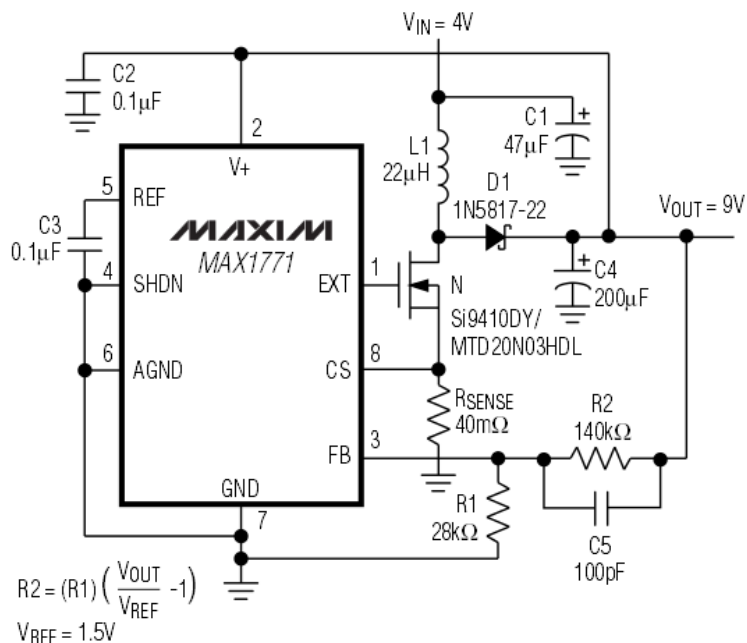
Integrovaný obvod MAX1771 je vhodný pro použití zvyšujících DC-DC měničů, vyznačuje se vysokou účinností až 90% při zatížení proudem od 30mA do 2A. Výstupní signál kombinuje výhody pulzně frekvenční modulační (nizký napájecí proud) a pulzně šířkové modulační (vysoká účinnost při velkém zatížení). Používá spínací frekvenci (až 300kHz). Vstupní napětí se může pohybovat od 2V do 16,5V. Výstupní napětí je nastaveno na 12V, nebo může být regulováno pomocí dvou rezistorů. Maximální výstupní výkon je 24W při použití externího tranzistoru MOSFET s kanálem N. Tento měnič využívá minimum externích součástek.

Nastavení výstupního napětí lze provést pouze pomocí dvou rezistorů:

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{U_{OUT}}{U_{REF}} - 1 \right) \quad U_{REF} = 1,5V \quad (3.1)$$

Pro výstupní filtr se používají cívky v rozsahu 10μH až 300μH. Nejčastější hodnotou indukčnosti je 22μH, která je pro většinu aplikací dostačující. Výstupní filtrační kapacitor se volí nejčastěji 150μF/16V.

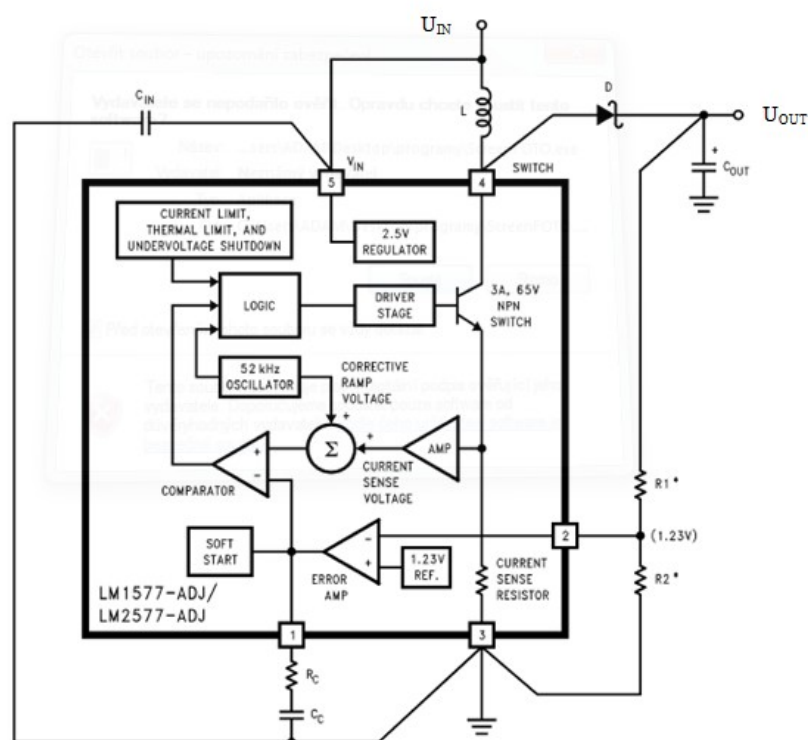
Příklad zapojení je uveden na obr. 3.1. Jedná se o zapojení zvyšujícího měniče. Vstupní napětí $U_{IN} = 4V$ je zvýšeno na $U_{OUT} = 9V$. Toto nastavení výstupního napětí je provedeno pomocí rezistorů R_1 a R_2 . Výstupní filtr je tvořen cívkou L_1 a kondenzátorem C_4 . Tranzistor zesiluje modulační signál, který vytváří integrovaný obvod a pomocí L_1 , D_1 a C_4 je tento signál převeden na stejnosměrnou hodnotu nastaveného výstupního napětí. [8]



Obr. 3.1: Schéma zapojení zvyšujícího měniče s IO MAX1771

3.2. Integrované měniče s obvodem LM2577

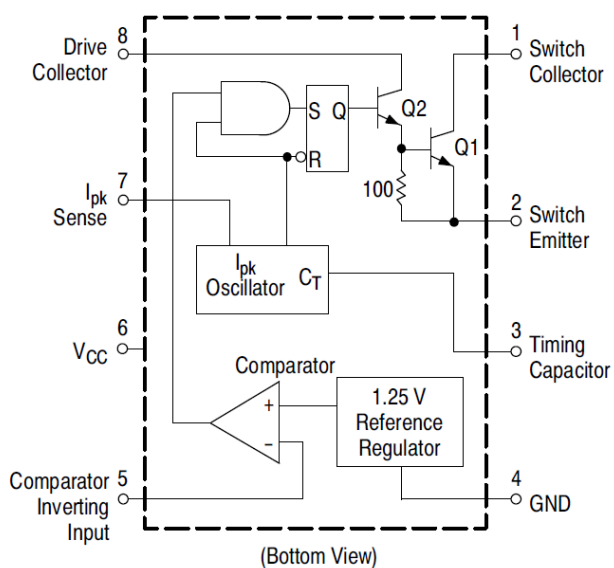
LM2577 je monolitický integrovaný obvod, který integruje ovládací funkce i výkonové obvody pro měniče typu step-up, flyback a forward. Obvod je k dispozici ve třech různých verzích výstupního napětí: 12V, 15V a nastavitelné, které lze jednoduše nastavit dvěma rezistory (R_1 a R_2). Vyžadují minimální počet externích součástek. Tyto měniče jsou efektivní a jednoduché na používání. V čipu je zahrnut 3A NPN spínací tranzistor a sním spojené ochranné obvody sestávající z proudového a tepelného omezení a blokování při podpětí. Má pevně nastavenou frekvenci oscilátoru na 52kHz, která nevyžaduje žádné externí komponenty, režim soft-start, který snižuje vstupní spínací proud při rozběhu a tepelné vypnutí. Vstupní napětí se může pohybovat do 3,5V do 40V. Pro jednotlivé typy měničů (step-up, flyback a forward) jsou v katalogovém listu uvedeny vzorce pro jednotlivé výpočty hodnot externích součástek a schémata zapojení. Příklad zapojení měniče v režimu pro zvyšování napětí s jeho vnitřní strukturou je uveden na obr 3.2. [9]



Obr 3.2: Zapojení zvyšujícího měniče LM2577 s jeho vnitřní strukturou

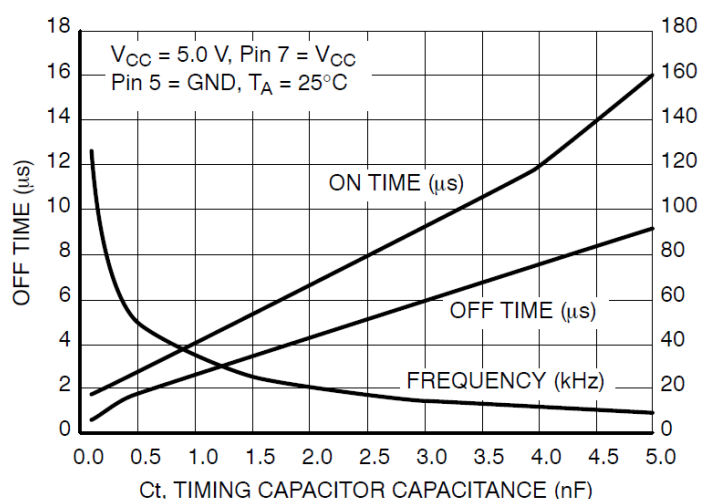
3.3. Integrované měniče s obvodem MC34063

Integrovaný obvod MC34063 je monolitický obvod určený pro řízení DC-DC měničů. Jeho vnitřní zapojení obsahuje teplotně kompenzovanou referenci napětí, komparátor, oscilátor a ochranu proti přetížení výstupu. Schéma vnitřní struktury obvodu je uvedeno na obrázku 3.3.



Obr. 3.3: Vnitřní struktura integrovaného obvodu MC34063

Napětí na výstupu je řízeno pomocí dvojice rezistorů ve zpětné vazbě, které je komparováno s referenčním napětím 1,25V. Při realizaci měničů je potřeba minimum externích součástek a je vhodný pro zapojení zvyšujícího měniče (Step-Up), snižujícího měniče (Step-Down) a invertujícího měniče (Inverting). Pro výpočet externích součástek lze využít příslušných vztahů v datasheetu, nebo internetových kalkulačků. Vnitřní struktura integrovaného obvodu MC34063 má zabudovaný oscilátor, jehož kmitočet je možno nastavit kondenzátorem C_T . Kmitočet lze nastavit tímto kondenzátorem od nízkých kmitočtů až po kmitočet 100kHz. Závislost doby zapnutí a doby vypnutí výkonového spínacího prvku na kapacitě kondenzátoru C_T je uvedena na obr. 3.4.



Obr 3.4: Závislost doby zapnutí a vypnutí na kapacitě kondenzátoru C_T

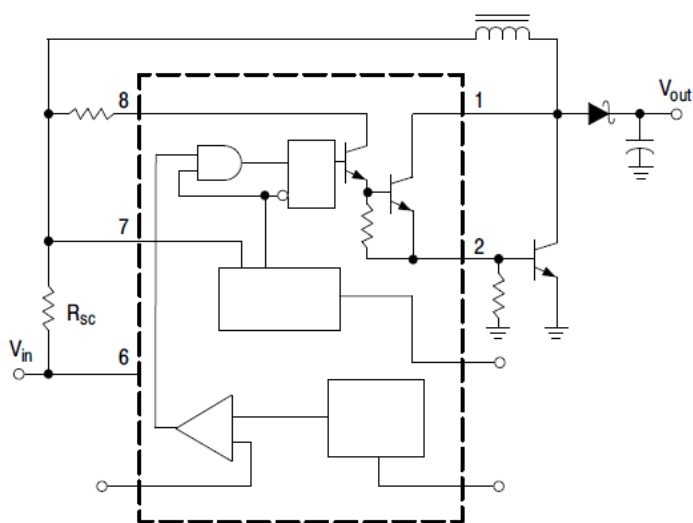
Výstup vnitřního oscilátoru je přiveden na vstup RESET klopného obvodu RS s negací a na vstup SET přes součinnové hradlo AND. Tímto hradlem je zajištěno, že vstupy R a S budou vždy buzeny inverzně. Vstupem S prochází signál z oscilátoru pouze tehdy, pokud je na druhém vstupu hradla logická jednička. Tato logická jednička se na vstup dostane jen tehdy, když je na vstupu FB napětí menší, než je referenční napětí $U_{REF} = 1,25V$. Na vstup FB je přiváděno vydělené výstupní napětí U_{OUT} , je tedy splněna podmínka záporné zpětné vazby a tranzistory vnitřní struktury obvodu $T1$ a $T2$ přestávají být buzeny při překročení požadované hodnoty výstupního napětí. Obvod je také vybaven vstupem I_{PK} , který slouží k omezení špičkové hodnoty proudu, který je odebírán ze zdroje. Pro zajištění maximální špičkové hodnoty tohoto proudu se do obvodu zařadí rezistor R_{SC} . Emitor tranzistoru $T1$ je vyveden na samostatnou výstupní svorku integrovaného obvodu, proto se zde naskytují velké možnosti připojení externích výkonových prvků bez omezení. Zařazením externích tranzistorů můžeme zvýšit

hodnotu špičkového proudu $I_{PK(switch)}$ na libovolnou hodnotu, do hodnoty $I_{PK(switch)} > 1500\text{mA}$ není třeba externích tranzistorů.

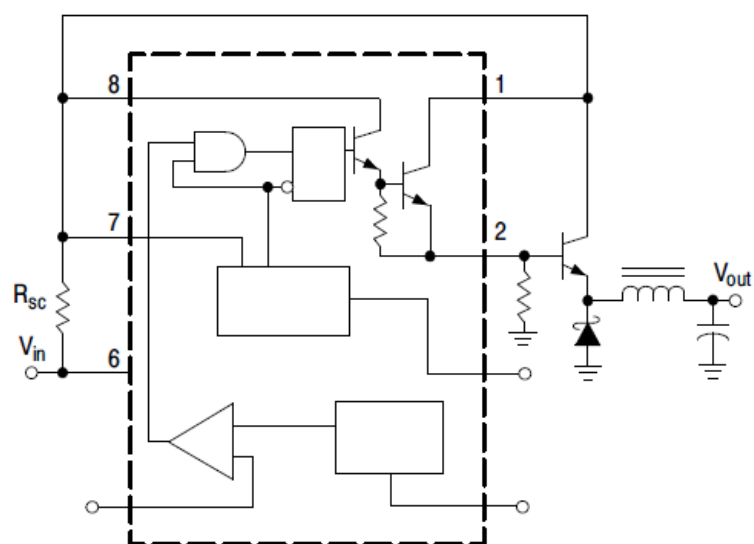
Tabulka 3.1: Výpočet parametrů DC-DC měniče

Parametr	zvyšující měnič	snižující měnič	invertující měnič
t_{on}/t_{off}	$\frac{U_{out} + U_F - U_{in(min)}}{U_{in(min)} - U_{sat}}$	$\frac{U_{out} + U_F}{U_{in(min)} - U_{sat} - U_{out}}$	$\frac{ U_{out} + U_F}{U_{in} - U_{sat}}$
$(t_{on} + t_{off})$	$1/f$	$1/f$	$1/f$
C_T	$4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{on}$	$4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{on}$	$4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{on}$
$I_{PK(switch)}$	$2I_{out(max)} \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right)$	$2I_{out(max)}$	$2I_{out(max)} \left(\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1 \right)$
R_{SC}	$\frac{0,3}{I_{PK(switch)}}$	$\frac{0,3}{I_{PK(switch)}}$	$\frac{0,3}{I_{PK(switch)}}$
$L(min)$	$\left(\frac{U_{in(min)} - U_{sat}}{I_{PK(switch)}} \right) \cdot t_{on(max)}$	$\left(\frac{U_{in(min)} - U_{sat} - U_{out}}{I_{PK(switch)}} \right) \cdot t_{on(max)}$	$\left(\frac{U_{in(min)} - U_{sat}}{I_{PK(switch)}} \right) \cdot t_{on(max)}$
C_0	$9 \cdot \frac{I_{out} \cdot t_{on}}{U_{ripple(p-p)}}$	$\frac{I_{PK(switch)}(t_{on} + t_{off})}{8 \cdot U_{ripple(p-p)}}$	$9 \cdot \frac{I_{out} \cdot t_{on}}{U_{ripple(p-p)}}$

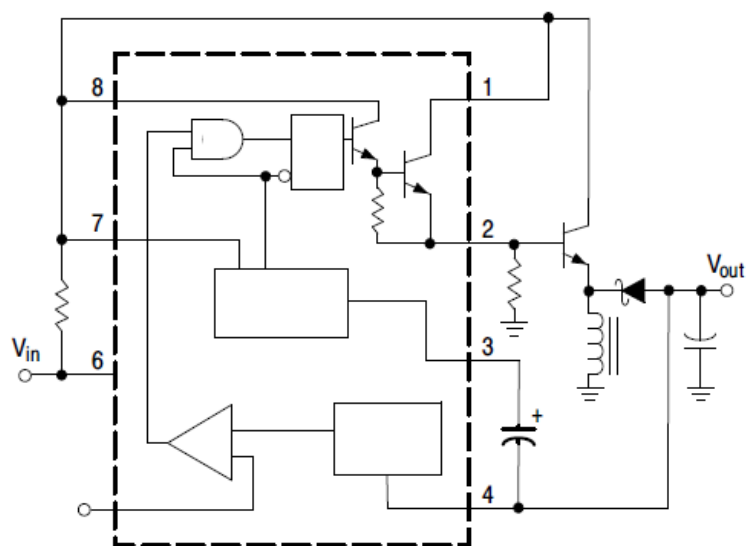
Integrovaný obvod MC34063 lze použít pro tři topologie měničů. Toho lze docílit pouze správným zapojením externích součástek. Doporučená zapojení jsou uvedeny na obrázcích obr 3.5.(zvyšující měnič), obr 3.6.(snižující měnič) a obr 3.7.(invertující měnič). [10]



Obr. 3.5: Doporučené zapojení zvyšujícího měniče (STEP-UP)



Obr. 3.6: Doporučené zapojení snižujícího měniče (STEP-DOWN)



Obr. 3.7: Doporučené zapojení invertujícího měniče (INVERTING)

4. Návrh měničů

4.1. Zvyšující měnič

Zvolené hodnoty pro návrh:

Tab. 4.1: Zvolené hodnoty pro návrh zvyšujícího měniče napětí

U_{IN}	6V
U_{OUT}	12V
$U_{IN(MIN)}$	5,4V
I_{OUT}	1A
U_{SAT}	0,7V
U_{RIPPLE}	<0,1V
f	50kHz
U_F	0,4V

Návrh obvodových prvků:

Perioda spínání:

$$T = (t_{ON} + t_{OFF}) = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-5} s = 20 \mu s \quad (4.1)$$

Poměr doby $\frac{t_{ON}}{t_{OFF}}$:

$$\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} = \frac{U_{OUT} + U_F - U_{IN(MIN)}}{U_{IN(MIN)} - U_{SAT}} = \frac{12 + 0,4 - 5,4}{5,4 - 0,4} = 1,4 \quad (4.2)$$

Z rovnic (4.1) a (4.2) vyjádříme t_{ON} a t_{OFF}

Doba sepnutí t_{ON} :

$$t_{ON} = 11,67 \cdot 10^{-6} s = 11,67 \mu s \quad (4.3)$$

Doba vypnutí t_{OFF} :

$$t_{OFF} = 8,33 \cdot 10^{-6} s = 8,33 \mu s \quad (4.4)$$

Výpočet proudu procházejícího výkonovým prvkem při spínání:

$$I_{PK(SWITCH)} = 2 \cdot I_{OUT(MAX)} \left(\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} + 1 \right) = 2 \cdot 1 \cdot (1,4 + 1) = 4,8 A \quad (4.5)$$

Výpočet odporu R_{SC} :

$$R_{SC} = \frac{0,3}{I_{PK(SWITCH)}} = \frac{0,3}{4,8} = 0,0625 \Omega \quad (4.6)$$

Výpočet kondenzátoru C_T :

$$C_T = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{ON} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot 11,67 \cdot 10^{-6} = 4,67 \cdot 10^{-10} F = 467 pF \quad (4.7)$$

Výpočet kondenzátoru C_0 :

$$C_0 = 9 \cdot \frac{I_{OUT} \cdot t_{ON}}{U_{RIPPLE}} = 9 \cdot \frac{1 \cdot 11,67 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 1,05 \cdot 10^{-3} = 1050 \mu F \quad (4.8)$$

Výpočet tlumivky L_{MIN} :

$$L_{MIN} = \frac{U_{IN(MIN)} - U_{SAT}}{I_{PK(SWITCH)}} \cdot t_{ON(MAX)} = \frac{5,4 - 0,7}{9,96} \cdot 11,67 \cdot 10^{-6} = 11,43 \mu H \quad (4.9)$$

Výpočet rezistoru R_2 při zvolení $R_1 = 10 k\Omega$:

$$R_2 = \left(\frac{U_{OUT} - 1,25}{1,25} \right) \cdot R_1 = \left(\frac{12 - 1,25}{1,25} \right) \cdot 10 \cdot 10^3 = 86 k\Omega \quad (4.10)$$

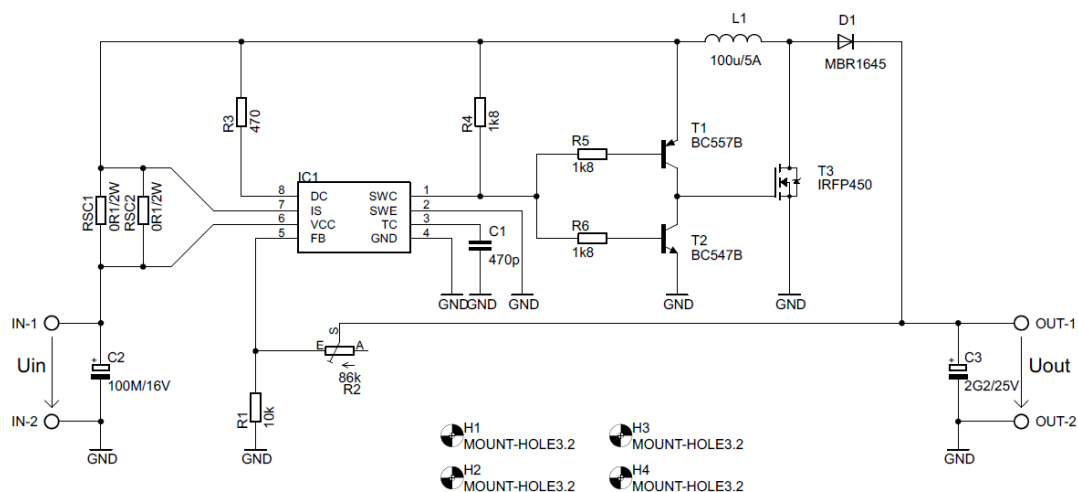
Výpočet ostatních rezistorů:

$$R_3 = 100 \cdot U_1 - 100 = 100 \cdot 6 - 100 = 500 \Omega \quad (4.11)$$

$$R_4, R_5, R_6 = 300 \cdot U_1 = 300 \cdot 6 = 1 k8 \quad (4.12)$$

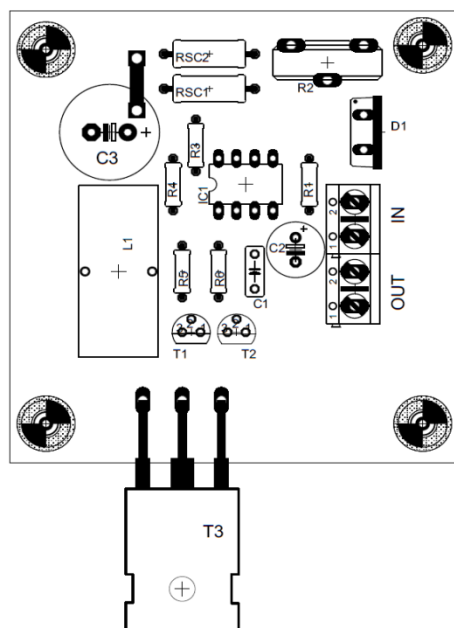
Tab. 4.2: Zvolené hodnoty obvodových prvků

R_{SC1,2}	0R1/2W	C₂	100M/16V
R₁	10k	C₃	2G2/25V
R₂	86k	T₁	BC557B
R₃	470	T₂	BC547B
R₄	1k8	T₃	IRFP450
R₅	1k8	IC₁	MC34063
R₆	1k8	L₁	100M/5A
C₁	470p	D₁	MBR1645

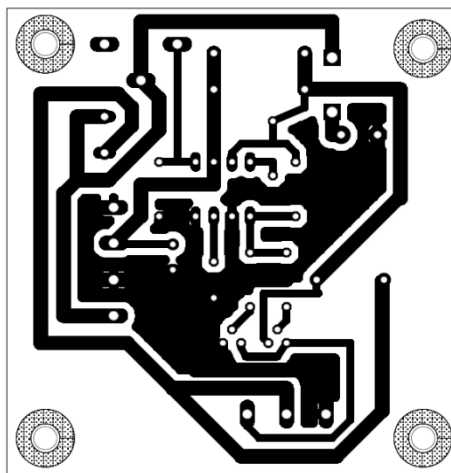


Obr. 4.1: Schéma zvyšujícího měniče napětí

Na obr. 4.1 je uvedeno schéma zvyšujícího měniče napětí. Vycházíme z doporučeného zapojení výrobce integrovaného obvodu MC34063. Pro zvýšení výstupního proudu je použito výkonového unipolárního tranzistoru $T3$, který je řízen napětím z dvojice komplementárních tranzistorů $T1$, $T2$. Buzení komplementárních tranzistorů zajišťuje IC1 spolu s napěťovým děličem, který je tvořen rezistory $R4$, $R5$ a $R6$. Rezistory $R_{SC1,2}$ omezují výstupní proud. Kondenzátor $C1$ nastavuje operační frekvenci. Výkonové prvky $L1$, $D1$, $C3$ spolu s $T3$ zajišťují funkci ve zvyšujícím režimu.



Obr. 4.2: Rozložení součástek na DPS



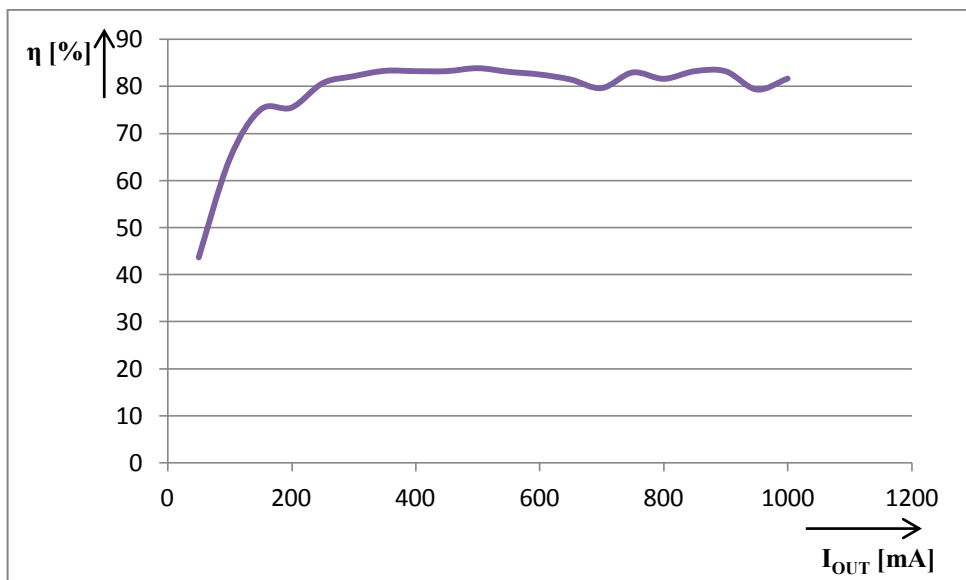
Obr. 4.3: Strana plošných spojů DPS

Rozměry DPS jsou: (š ; v) = (63,5 ; 66.04)mm

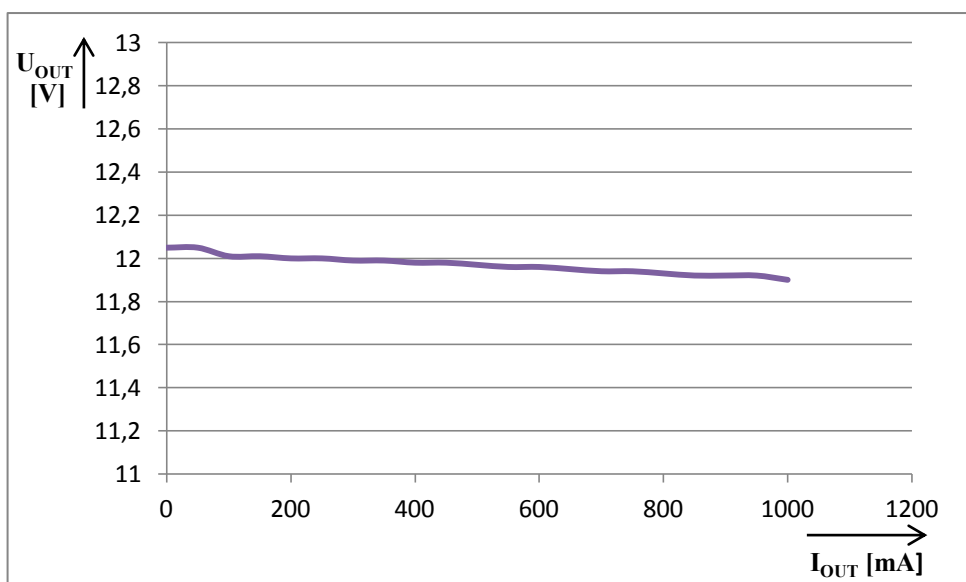
Naměřené hodnoty

Tab. 4.3: Zatěžovací charakteristika

U_{IN} [V]	I_{IN} [mA]	P_I [W]	U_{OUT} [V]	I_{OUT} [mA]	P_2 [W]	η [%]
6	110	0,66	12,05	0	0,00	-
6	230	1,38	12,05	50	0,60	43,66
6	310	1,86	12,01	100	1,20	64,57
6	400	2,40	12,01	150	1,80	75,06
6	530	3,18	12,00	200	2,40	75,47
6	620	3,72	12,00	250	3,00	80,65
6	730	4,38	11,99	300	3,60	82,12
6	840	5,04	11,99	350	4,20	83,26
6	960	5,76	11,98	400	4,79	83,19
6	1080	6,48	11,98	450	5,39	83,19
6	1190	7,14	11,97	500	5,99	83,82
6	1320	7,92	11,96	550	6,58	83,06
6	1450	8,70	11,96	600	7,18	82,48
6	1590	9,54	11,95	650	7,77	81,42
6	1750	10,50	11,94	700	8,36	79,60
6	1800	10,80	11,94	750	8,96	82,92
6	1950	11,70	11,93	800	9,54	81,57
6	2030	12,18	11,92	850	10,13	83,19
6	2150	12,90	11,92	900	10,73	83,16
6	2380	14,28	11,92	950	11,32	79,30
6	2430	14,58	11,90	1000	11,90	81,62



Obr 4.4: Závislost účinnosti na výstupním proudu zvyšujícího měniče



Obr 4.5: Zatěžovací charakteristika zvyšujícího měniče

Vnitřní odpor zdroje:

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{12,05 - 11,9}{1000 - 0} = 0,00015 \Omega \quad (4.13)$$

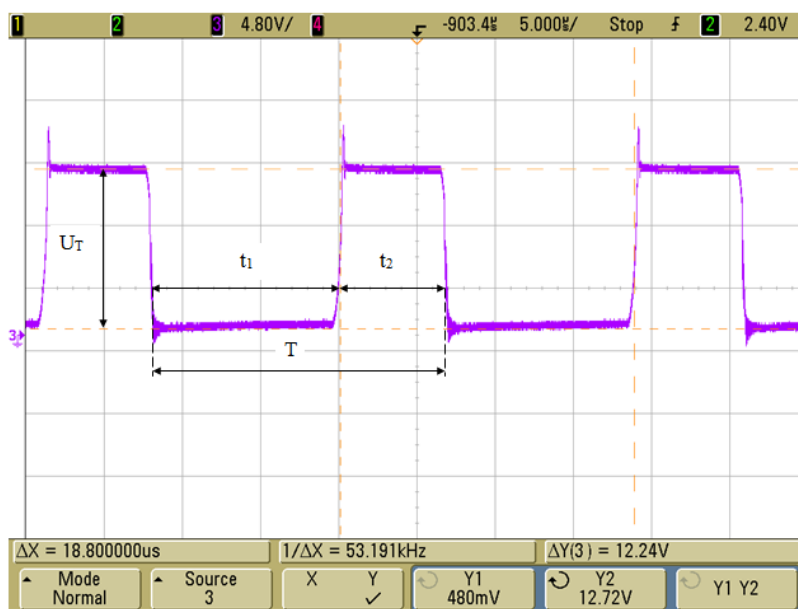
Tabulka 4.3 zobrazuje vstupní a výstupní hodnoty napětí a proudu, které byly naměřeny na přípravku zvyšujícího měniče. Účinnost η je dána poměrem výkonu P_2 a příkonu P_1

vynásobeným konstantou 100%. Z výsledných hodnot vidíme, že účinnost tohoto měniče se pohybuje kolem 80%.

Tab. 4.4: Převodní charakteristika

U_{IN} [V]	U_{OUT} [V]
5,4	12,04
5,5	12,04
5,6	12,04
5,7	12,04
5,8	12,04
5,9	12,04
6	12,04
6,1	12,04
6,2	12,04
6,3	12,04
6,4	12,04
6,5	12,04

Z tabulky 4.4, která zobrazuje převodní charakteristiku je zřejmé, že při dovoleném rozkmitu vstupního napětí $\pm 10\% U_{IN}$ v plném rozsahu výstupního výkonu se výstupní napětí U_{OUT} nemění.



Obr. 4.6: Napětí za tranzistorem T_3 zvyšujícího měniče při výstupním proudu 1A

$$t_1 = 12,16\mu s$$

$$t_2 = 6,64\mu s$$

$$T = 18,8\mu s \rightarrow f = 53,191kHz$$

$$U_T = 12,24V$$

4.2. Snižující měnič

Zvolené hodnoty pro návrh:

Tab. 4.5: Zvolené hodnoty pro návrh snižujícího měniče napětí

U_{IN}	12V
U_{OUT}	6V
$U_{IN(MIN)}$	10,8V
I_{OUT}	1,5A
U_{SAT}	0,7V
U_{RIPPLE}	< 0,1V
f	50kHz
U_F	0,4V

Návrh obvodových prvků:

Perioda spínání:

$$T = (t_{ON} + t_{OFF}) = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-5} s = 20 \mu s \quad (4.14)$$

Poměr doby $\frac{t_{ON}}{t_{OFF}}$:

$$\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} = \frac{U_{OUT} + U_F}{U_{IN(MIN)} - U_{SAT} - U_{OUT}} = \frac{6 + 0,4}{10,8 - 0,7 - 6} = 1,561 \quad (4.15)$$

Z rovnic (4.14) a (4.15) vyjádříme t_{ON} a t_{OFF}

Doba sepnutí t_{ON} :

$$t_{ON} = 12,19 \cdot 10^{-6} s = 12,19 \mu s \quad (4.16)$$

Doba vypnutí t_{OFF} :

$$t_{OFF} = 7,81 \cdot 10^{-6} s = 7,81 \mu s \quad (4.17)$$

Výpočet proudu procházejícího výkonovým prvkem při spínání:

$$I_{PK(SWITCH)} = 2 \cdot I_{OUT(MAX)} = 2 \cdot 1,5 = 3A \quad (4.18)$$

Výpočet odporu R_{SC} :

$$R_{SC} = \frac{0,3}{I_{PK(SWITCH)}} = \frac{0,3}{3} = 0,1 \Omega \quad (4.19)$$

Výpočet kondenzátoru C_T :

$$C_T = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{ON} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot 12,19 \cdot 10^{-6} = 4,88 \cdot 10^{-10} F = 488 pF \quad (4.20)$$

Výpočet kondenzátoru C_0 :

$$C_0 = \frac{I_{PK(SWITCH)} \cdot (t_{ON} + t_{OFF})}{8 \cdot U_{RIPPLE}} = \frac{3 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 0,1} = 7,5 \cdot 10^{-5} = 75 \mu F \quad (4.21)$$

Výpočet tlumivky L_{MIN} :

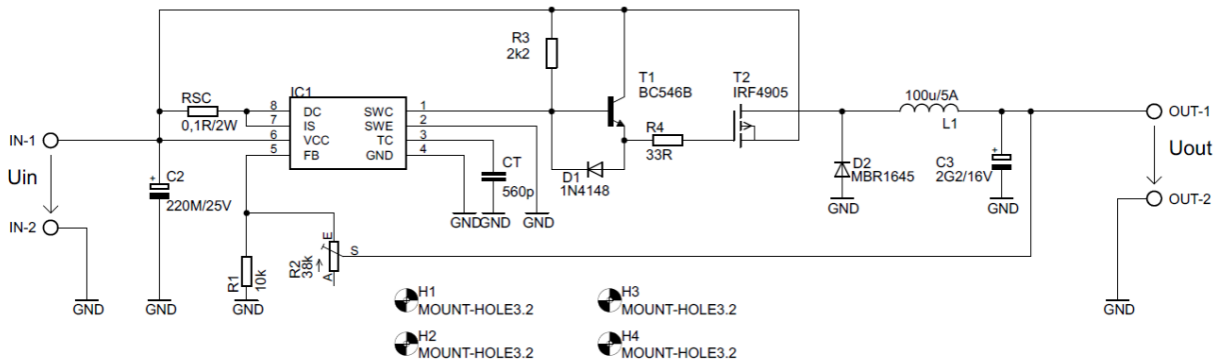
$$L_{MIN} = \frac{U_{IN(MIN)} - U_{SAT} - U_{OUT}}{I_{PK(SWITCH)}} \cdot t_{ON(MAX)} = \frac{10,8 - 0,7 - 6}{3} \cdot 12,19 \cdot 10^{-6} = 16,67 \mu H \quad (4.22)$$

Výpočet rezistoru R_2 při zvolení $R_1 = 10k\Omega$:

$$R_2 = \left(\frac{U_{OUT} - 1,25}{1,25} \right) \cdot R_1 = \left(\frac{6 - 1,25}{1,25} \right) \cdot 10 \cdot 10^3 = 38k\Omega \quad (4.23)$$

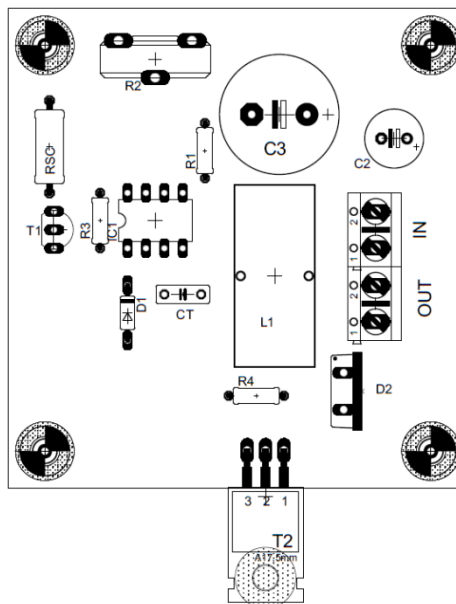
Tab. 4.6: Zvolené hodnoty obvodových prvků

R_{SC}	0R1/2W	C_3	2G2/16V
R_1	10k	T_1	BC546B
R_2	38k	T_2	IRF4905
R_3	2k2	IC_1	MC34063
R_4	33	L_1	100M/5A
C_T	560p	D_1	1N4148
C_2	220M/25V	D_2	MBR1645

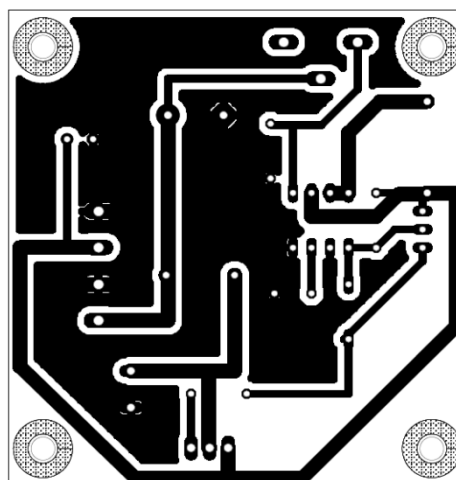


Obr. 4.7: Schéma snižujícího měniče napětí

Na obrázku 4.7 je schéma snižujícího měniče napětí. Vycházíme z doporučeného zapojení výrobce integrovaného obvodu MC34063. Pro zvýšení výstupního proudu je použito výkonového unipolárního tranzistoru T_2 , který je řízen napětím z tranzistoru T_1 a D_1 . Rezistor R_{SC} omezuje výstupní proud. Kondenzátor C_1 nastavuje operační frekvenci. Výkonové prvky L_1 , D_2 , C_3 spolu s T_2 zajišťují funkci ve snižujícím režimu.



Obr. 4.8: Rozložení součástek na DPS



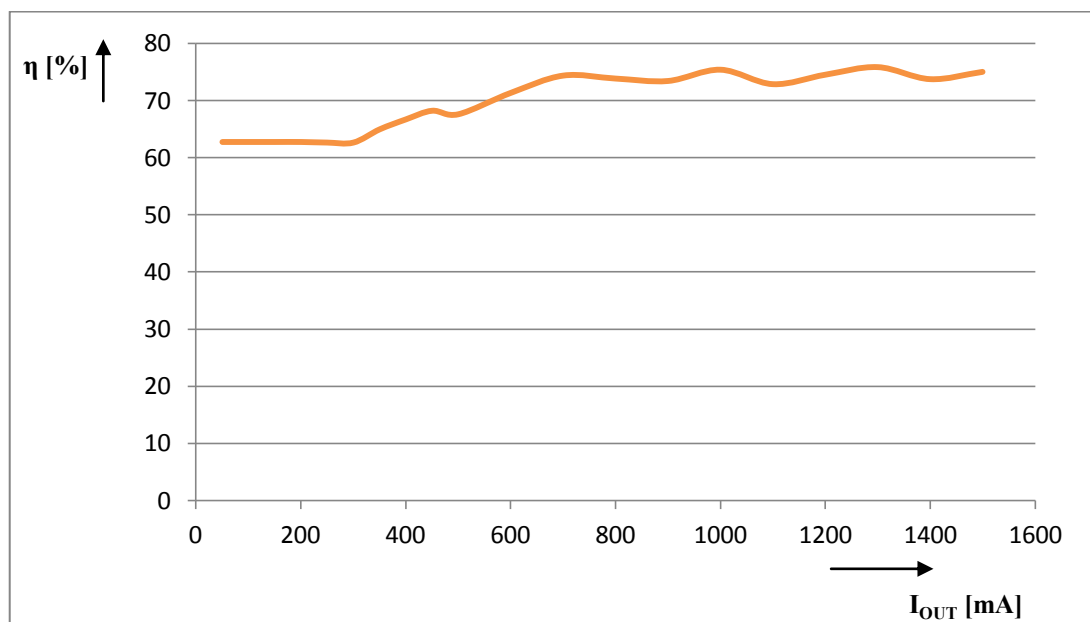
Obr. 4.9: Strana plošných spojů DPS

Rozměry DPS jsou: (š ; v) = (63,5 ; 66.04)mm

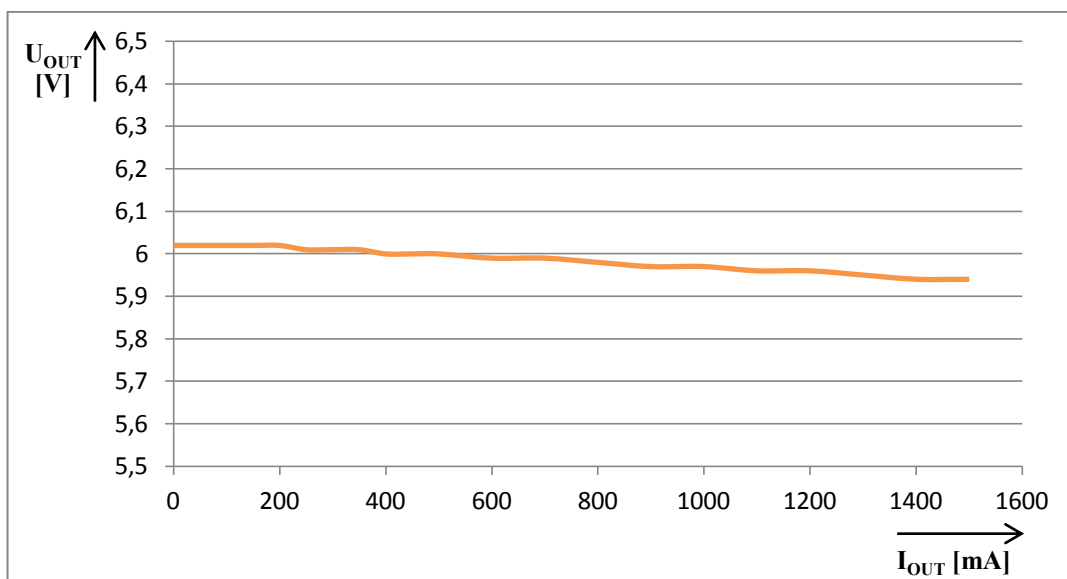
Naměřené hodnoty:

Tab. 4.7: Zatěžovací charakteristika

U_{IN} [V]	I_{IN} [mA]	P [W]	U_{OUT} [V]	I_{OUT} [mA]	P [W]	η [%]
12	0	0,00	6,02	0	0,00	-
12	40	0,48	6,02	50	0,30	62,71
12	80	0,96	6,02	100	0,60	62,71
12	120	1,44	6,02	150	0,90	62,71
12	160	1,92	6,02	200	1,20	62,71
12	200	2,40	6,01	250	1,50	62,60
12	240	2,88	6,01	300	1,80	62,60
12	270	3,24	6,01	350	2,10	64,92
12	300	3,60	6,00	400	2,40	66,67
12	330	3,96	6,00	450	2,70	68,18
12	370	4,44	6,0	500	3,00	67,57
12	420	5,04	5,99	600	3,59	71,31
12	470	5,64	5,99	700	4,19	74,34
12	540	6,48	5,98	800	4,78	73,83
12	610	7,32	5,97	900	5,37	73,40
12	660	7,92	5,97	1000	5,97	75,38
12	750	9,00	5,96	1100	6,56	72,84
12	800	9,60	5,96	1200	7,15	74,50
12	850	10,20	5,95	1300	7,74	75,83
12	940	11,28	5,94	1400	8,32	73,72
12	990	11,88	5,94	1500	8,91	75,00



Obr. 4.10: Závislost účinnosti na výstupním proudu snižujícího měniče



Obr. 4.11: Zatěžovací charakteristika snižujícího měniče

Vnitřní odpor zdroje:

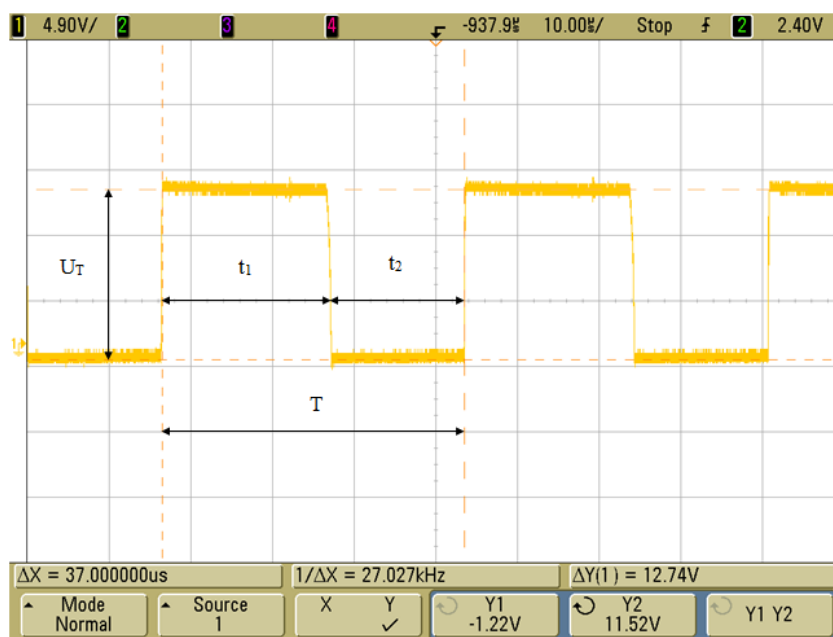
$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{6,02 - 5,94}{1500 - 0} = 5,3 \cdot 10^{-5} \Omega \quad (4.24)$$

Tabulka 4.11 zobrazuje vstupní a výstupní hodnoty napětí a proudu, které byly naměřeny na přípravku snižujícího měniče. Účinnost η je dána poměrem výkonu P_2 a příkonu P_1 vynásobeným konstantou 100%. Z výsledných hodnot vidíme, že účinnost tohoto měniče se pohybuje v rozmezí (63 – 75)% v závislosti na odebíraném proudu.

Tab. 4.8: Převodní charakteristika

U_{IN} [V]	U_{OUT} [V]
10,8	6,02
11,0	6,02
11,2	6,02
11,4	6,02
11,6	6,02
11,8	6,02
12,0	6,02
12,2	6,02
12,4	6,02
12,6	6,02
12,8	6,02
13,0	6,02
13,2	6,02

Z tabulky 4.8, která zobrazuje převodní charakteristiku je zřejmé, že při dovoleném rozkmitu vstupního napětí $\pm 10\% U_{IN}$ v plném rozsahu výstupního výkonu se výstupní napětí U_{OUT} nemění.



Obr. 4.12: Napětí za tranzistorem T_2 při výstupním proudu 1,5A

$$t_1 = 20,4\mu\text{s}$$

$$t_2 = 16,6\mu\text{s}$$

$$T = 37\mu\text{s} \rightarrow f = 27,027\text{kHz}$$

$$U_T = 12,74\text{V}$$

4.3. Invertující měnič

Zvolené hodnoty pro návrh:

Tab. 4.9: Zvolené hodnoty pro návrh invertujícího měniče napětí

U_{IN}	12V
U_{OUT}	-12V
$U_{IN(MIN)}$	10,8V
I_{OUT}	1A
U_{SAT}	0,7V
U_{RIPPLE}	< 0,1V
f	50kHz
U_F	0,4V

Návrh obvodových prvků:

Perioda spínání:

$$T = (t_{ON} + t_{OFF}) = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-5} s = 20 \mu s \quad (4.25)$$

Poměr doby $\frac{t_{ON}}{t_{OFF}}$:

$$\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} = \frac{|U_{OUT}| + U_F}{U_{IN} - U_{SAT}} = \frac{|-12| + 0,4}{12 - 0,7} = 1,0973 \quad (4.26)$$

Z rovnic (4.25) a (4.26) vyjádříme t_{ON} a t_{OFF}

Doba sepnutí t_{ON} :

$$t_{ON} = 10,46 \cdot 10^{-6} s = 10,46 \mu s \quad (4.27)$$

Doba vypnutí t_{OFF} :

$$t_{OFF} = 9,54 \cdot 10^{-6} s = 9,54 \mu s \quad (4.28)$$

Výpočet proudu procházejícího výkonovým prvkem při spínání:

$$I_{PK(SWITCH)} = 2 \cdot I_{OUT(MAX)} \cdot \left(\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} + 1 \right) = 2 \cdot 1 \cdot (1,0973 + 1) = 4,19 A \quad (4.29)$$

Výpočet odporu R_{SC} :

$$R_{SC} = \frac{0,3}{I_{PK(SWITCH)}} = \frac{0,3}{4,19} = 0,072 \Omega \quad (4.30)$$

Výpočet kondenzátoru C_T :

$$C_T = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{ON} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot 10,46 \cdot 10^{-6} = 4,18 \cdot 10^{-10} F = 418 pF \quad (4.31)$$

Výpočet kondenzátoru C_0 :

$$C_0 = 9 \cdot \frac{I_{OUT} \cdot t_{ON}}{U_{RIPPLE}} = 9 \cdot \frac{1 \cdot 10,46 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 941 \cdot 10^{-6} = 941 \mu F \quad (4.32)$$

Výpočet tlumivky L_{MIN} :

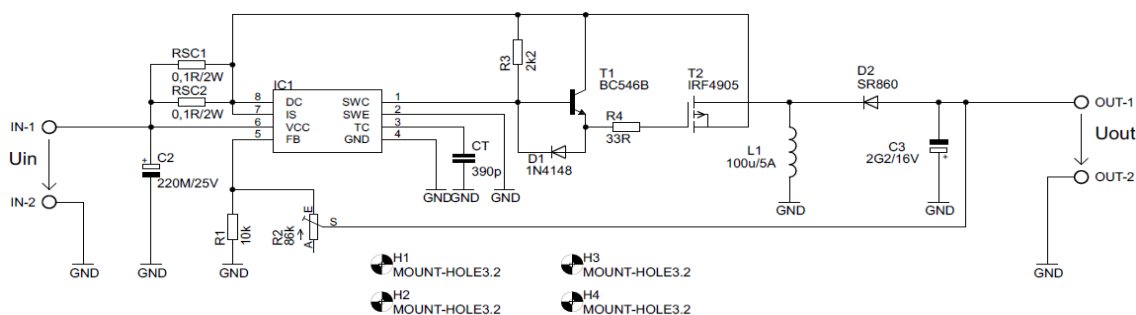
$$L_{MIN} = \frac{U_{IN(MIN)} - U_{SAT}}{I_{PK(SWITCH)}} \cdot t_{ON(MAX)} = \frac{10,8 - 0,7}{4,19} \cdot 10,46 \cdot 10^{-6} = 25,21 \mu H \quad (4.33)$$

Výpočet rezistoru R_2 při zvolení $R_1 = 10 k\Omega$:

$$R_2 = \left(\frac{U_{OUT} - 1,25}{1,25} \right) \cdot R_1 = \left(\frac{12 - 1,25}{1,25} \right) \cdot 10 \cdot 10^3 = 86 k\Omega \quad (4.34)$$

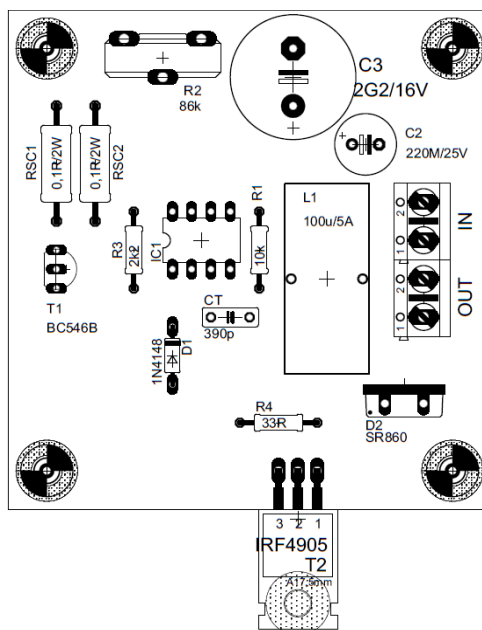
Tab. 4.10: Zvolené hodnoty obvodových prvků

$R_{SC1,2}$	0R1/2W	C_3	2G2/16V
R_1	10k	T_1	BC546B
R_2	86k	T_2	IRF4905
R_3	2k2	IC_1	MC34063
R_4	33	L_1	100M/5A
C_T	390p	D_1	1N4148
C_2	220M/25V	D_2	MBR1645

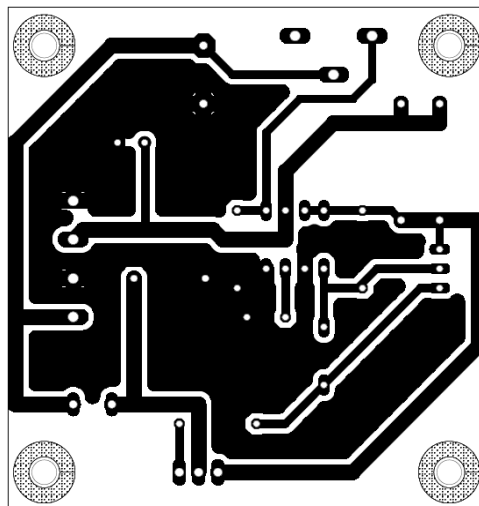


Obr. 4.13: Schéma invertujícího měniče napětí

Na obrázku 4.13 je uvedeno schéma invertujícího měniče napětí. Vycházíme z doporučeného zapojení výrobce integrovaného obvodu MC34063. Pro zvýšení výstupního proudu je použito výkonového unipolárního tranzistoru T_2 , který je řízen napětím z tranzistoru T_1 a D_1 . Rezistory $R_{SC1,2}$ omezují výstupní proud. Kondenzátor C_T nastavuje operační frekvenci. Výkonové prvky L_1 , D_2 , C_3 spolu s T_2 zajišťují funkci v invertujícím režimu.



Obr. 4.14: Rozložení součástek na DPS



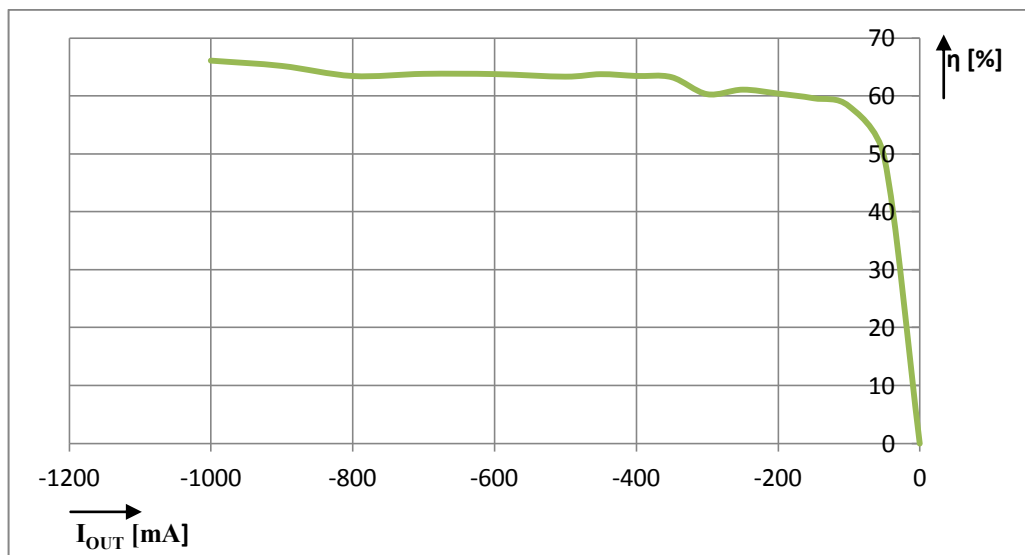
Obr. 4.15: Strana plošných spojů DPS

Rozměry DPS jsou: (š ; v) = (63,5 ; 66.04)mm

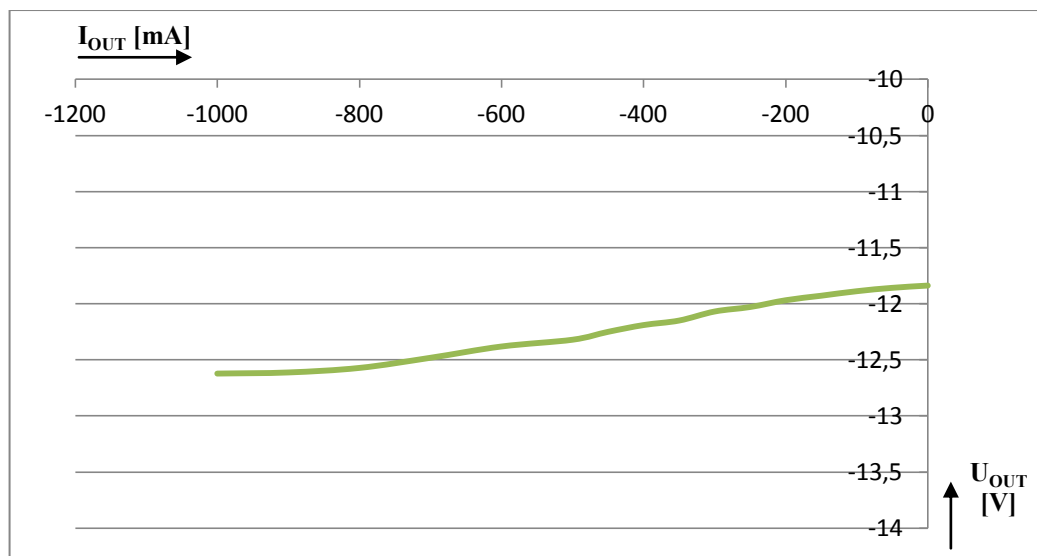
Naměřené hodnoty:

Tab. 4.11: Zatěžovací charakteristika

U_{IN} [V]	I_{IN} [mA]	P [W]	U_{OUT} [V]	I_{OUT} [mA]	P [W]	η [%]
12	0	0,00	-11,84	0	0,00	0,00
12	100	1,20	-11,86	-50	0,59	49,42
12	170	2,04	-11,89	-100	1,19	58,28
12	250	3,00	-11,93	-150	1,79	59,65
12	330	3,96	-11,97	-200	2,39	60,45
12	410	4,92	-12,03	-250	3,01	61,13
12	500	6,00	-12,07	-300	3,62	60,35
12	560	6,72	-12,15	-350	4,25	63,28
12	640	7,68	-12,19	-400	4,88	63,49
12	720	8,64	-12,25	-450	5,51	63,80
12	810	9,72	-12,32	-500	6,16	63,37
12	970	11,64	-12,38	-600	7,43	63,81
12	1140	13,68	-12,48	-700	8,74	63,86
12	1320	15,84	-12,57	-800	10,06	63,48
12	1450	17,40	-12,61	-900	11,35	65,22
12	1590	19,08	-12,62	-1000	12,62	66,14



Obr. 4.16: Závislost účinnosti na výstupním proudu invertujícího měniče



Obr. 4.17: Zatěžovací charakteristika invertujícího měniče

Vnitřní odpor zdroje:

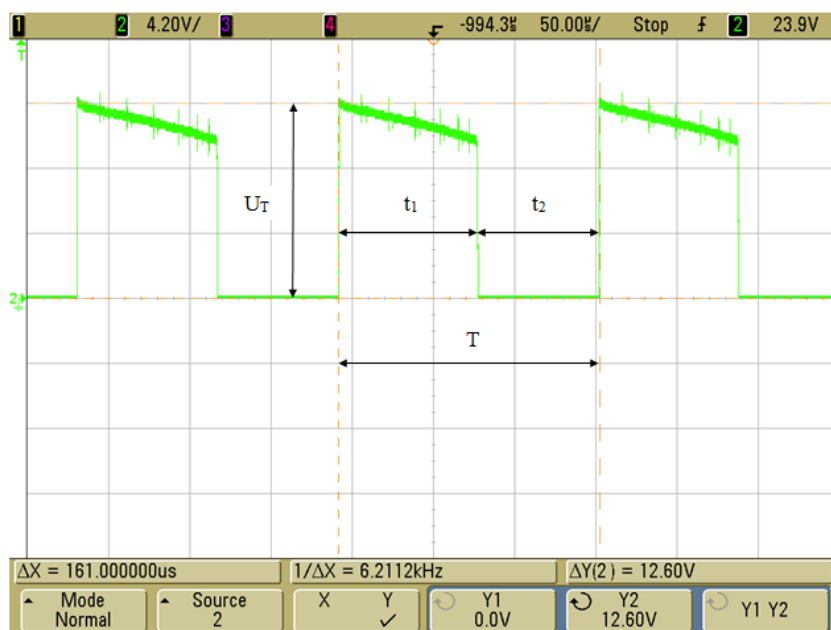
$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{(-12,62) - (-11,84)}{(-1000) - 0} = 78 \cdot 10^{-5} \Omega \quad (4.35)$$

Tabulka 4.11 zobrazuje vstupní a výstupní hodnoty napětí a proudu, které byly naměřeny na přípravku invertujícího měniče. Účinnost η je dána poměrem výkonu P_2 a příkonu P_1 vynásobeným konstantou 100%. Z výsledných hodnot vidíme, že účinnost tohoto měniče se pohybuje v rozmezí (49 – 66)% v závislosti na odebíraném proudu.

Tab. 4.12: Převodní charakteristika

U_{IN} [V]	U_{OUT} [V]
10,8	-11,66
11	-11,65
11,2	-11,66
11,4	-11,66
11,6	-11,67
11,8	-11,7
12	-11,72
12,2	-11,72
12,4	-11,72
12,6	-11,72
12,8	-11,74
13	-11,77
13,2	-11,78

Z tabulky 4.12, která zobrazuje převodní charakteristiku je zřejmé, že při dovoleném rozkmitu vstupního napětí $\pm 10\% U_{IN}$ v plném rozsahu výstupního výkonu se výstupní napětí U_{OUT} mění pouze o 0,12V.



Obr. 4.18: Napětí za tranzistorem T2 při výstupním proudu 1A

$$t_1 = 87\mu\text{s}$$

$$t_2 = 74\mu\text{s}$$

$$T = 161\mu\text{s} \rightarrow f = 6,211\text{kHz}$$

$$U_T = 12,6\text{V}$$

5. Závěr

Hlavním cílem mé bakalářské práce byl návrh a realizace tří topologicky rozdílných spínaných měničů napětí malého výkonu pro průmyslovou elektroniku. Navrhl jsem a sestrojil zvyšující měnič (step-up), snižující měnič (step-down) a invertující měnič (inverting) pro určené hodnoty vstupních a výstupních napětí a výstupního proudu. Dále jsem zpracoval rešerši dostupných DC/DC měničů a specifikoval možnosti použití speciálních integrovaných obvodů pro tyto měniče. V příloze jsem zpracoval úlohu pro laboratorní měření na těchto laboratorních vzorcích.

6. Seznam použité literatury

- [1] NOVOTNÝ, V., VOREL, P., PATOČKA, M.: *Napájení elektronických zařízení*. Brno: Ústav radioelektroniky FEI VUT, 1999. 129s ISBN 8021410906, 9788021410909
- [2] KREJČÍŘÍK, A.: *DC/DC MĚNIČE*. 1. vyd. Praha: Ben – technická literatura, 2001. 112s ISBN 80-7300-045-8
- [3] Pandatron.cz : Elektrotechnický magazín [online]. c2000 - 2013 [cit. 2013-01-23]. ISSN 1803-6007
Dostupný z WWW:
<http://pandatron.cz/?914&dc/dc_nabojove_pumpy_a_jak_na_ne>
- [4] Pandatron.cz : Elektrotechnický magazín [online]. c2000 - 2013 [cit. 2013-01-25]. ISSN 1803-6007
Dostupný z WWW:
<http://pandatron.cz/?623&buck-boost_dc%2Fdc_umodule_regulator>
- [5] Schmidt-walter.eit.h-da.de : Design of Switch Mode Power Supplies [online]. c2006 [cit. 2013-02-01]. Dostupný z WWW:
<http://schmidt-walter.eit.h-da.de/snt/snt_eng/snteng3b.pdf>
- [6] EDN.com : [online]. c2013 [cit. 2013-02-05]. Dostupný z WWW:
<<http://www.edn.com/design/power-management/4404030/Isolated-Full-Bridge-Converters>>
- [7] Pandatron.cz : Elektrotechnický magazín [online]. c2000 - 2013 [cit. 2013-02-08]. ISSN 1803-6007 Dostupný z WWW:
<http://pandatron.cz/?1635&power_tipy_xiv_-_zdroj_topologie_sepic_zajistuje_vyssi_ucinnost>
- [8] Alldatasheet.com : [online]. c2003-2013 [cit. 2013-02-15]. Dostupný z WWW:
<<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/72945/MAXIM/MAX1771.html>>
- [9] Alldatasheet.com : [online]. c2003-2013 [cit. 2013-02-16]. Dostupný z WWW:
<<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/8676/NSC/LM2577.html>>
- [10] Alldatasheet.com : [online]. c2003-2013 [cit. 2013-02-18]. Dostupný z WWW:
<<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/92958/STMICROELECTRONICS/MC34063.html>>